GÉMESI JÓZSEF

MICROSCOPUL CU ULTRA SUNETE

TRADUCERE DIN LIMBA MAGHIARĂ

EDITURA ENERGETICĂ DE STAT

Scanned with OKEN Scanner

GÉMESI JÓZSEF

MICROSCOPUL CU ULTRA SUNETE

TRADUCERE DIN LIMBA MAGHIARĂ

EDITURA ENERGETICĂ DE STAT
1 9 5 4

Scanned with OKEN Scanner

In această lucrare sînt tratate, pe înțelesul maselor largi teoria sunetelor și apoi a ultrasunetelor, aplicațiile tehnice și științifice ale ultrasunetelor, diferitele tipuri de miscroscoape cu ultrasunete cu aplicațiile și perspectivele de viitor.

GEMESI JÓZSEF:

Ultrahangmikroszkóp

Művelt Nép Könyvkiadó, 1952

Scanned with OKEN Scanner

INTRODUCERE

Un cabinet modern. Un medic îmbrăcat intr-un halat alb ascultă cu răbdare plingerile bolnavului. Un țăcănit și musculatura bolnavă este supusă unui masaj vindecător. In timp ce durerile i se calmează, bolnavul nu uită să întrebe care este secretul tratamentului. „Ultrasunetele" răspunde lapidar medicul.

Intr-un laborator al unui institut pentru selecționarea plantelor, biologii fac experiențe în legătură cu mărirea capacității de încolțire a semințelor. Capacitatea de încolțire a cartofilor, a mazării și a orezului este mărită tot prin ultrasunete.

Aceste aspecte nu sînt culese din cabinete medicale imaginare sau din institute de cercetări ale secolului viitor, ci constituie doar cîteva exemple din multiplele procedee tehnice și științifice la baza cărora stau ultrasunetele. Nu este întîmplător faptul că în ultimii 20 de ani au văzut lumina tiparului mai mult de 2300 de lucrări și comunicări științifice în acest domeniu. Ele arată folosirea din ce în ce mai mult a ultrasunetelor.

Trebuie să scoatem în evidență, în mod special, o invenție care este de importanță hotărîtoare pentru dezvoltarea industriei grele.

Detectarea și aprecierea celor mai mici defecte interne ale aliajelor sau ale metalelor, cu ajutorul ultrasunetelor, nu este folosită numai în laborator

Scanned with OKEN Scanner

ci constituie și un procedeu utilizat sistematic în industria modernă. Această invenție este legată de numele profesorului sovietic S. A. Sokolov. Nu este nevoie să mai accentuăm însemnătatea pe care o are examinarea prealabilă a părților componente ale mașinilor și controlul riguros al acestora. Cîtă muncă de prisos se poate evita, cît de mult se reduc rebuturile și cît de productivă devine munca prin această metodă!

Scopul acestei broșuri este să dea cititorilor acele cunoștințe care le sînt absolut necesare pentru a înțelege ce sînt ultrasunetele, să descrie proprietățile și aplicațiile ultrasunetelor și să facă posibilă nu numai cunoașterea celei mai noi invenții a lui S. A. Sokolov, microscopul cu ultrasunete, dar și însușirea cunoștințelor de bază necesare pentru construirea unui astfel de aparat.

1. PRODUCEREA SUNETULUI ȘI PROPAGAREA LUI

Graiul omenesc, zgomotul produs de clacsoanele mașinilor, șuieratul sirenelor de pe vapoare sînt compuse din sunete. Coarda de chitară, cînd este lovită, sau coarda de vioară, cînd pe ea alunecă arcușul, produc sunete. În primele exemple, un curent puternic de aer face să vibreze o coardă sau o lamă, pe cînd în celelalte, vibrează direct coarda. Oare sînt acestea cu adevărat vibrații, deși nu se văd cu ochiul liber? În cazul coardei se observă o îngroșare a ei însă, în toate celelalte cazuri sunetul este o vibrație?

Să prindem într-o menghină capătul unei lame lungi de oțel (cu lungimea de 40—50 cm și lățimea de 4 cm) și să lovim capătul opus (fig. 1). Capătul liber al lamei va începe să vibreze. Dar nu se produc sunete. Să prindem acum astfel lama încît

lungimea ei liberă să fie mai mică. Vibrațiile vor avea o viteză din ce în ce mai mare. Atît timp cît vibrația este atît de înceată, încît poate fi observată cu ochiul liber, nu se aud sunete. Dacă se scurtează și mai mult lungimea ei liberă, vibrațiile nu se mai pot urmări cu ochiul liber și dintr-o dată se produc sunete: Lama vibrează și acum; de aceasta ne putem convinge, atingînd-o cu o bobiță de măduvă de soc, atîrnată de un fir de ață. Vibrația mai poate fi urmărită, băgînd capătul liber al lamei în apă. În locul în care se bagă lama, suprafața apei se ondulează.

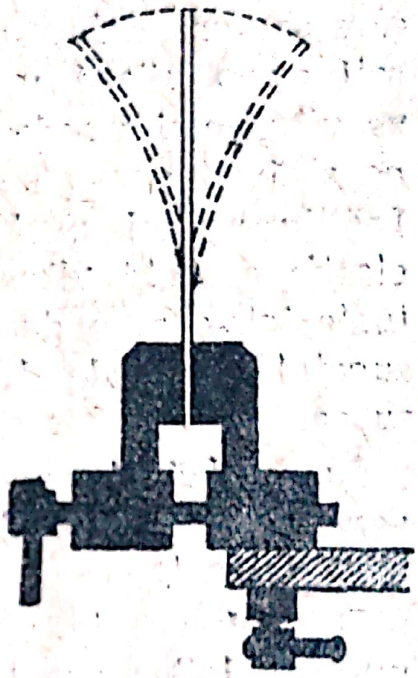


Fig. 1. Lamă de oțel în vibrație

Prima încercare prin care omul s-a convins că este nevoie de un corp elastic pentru producerea ultrasunetelor, a fost asemănătoare. Trebuie să avem grijă, desigur, ca lama să fie prinsă într-o menghină sau, eventual, într-un clește și să n-o strîngem între degete, deoarece, altfel, vibrația s-ar amortiza datorită corpului nostru. Fenomene asemănătoare putem produce de asemenea cu un arc de ceas, cu o lamă de ras etc. Vibrația unei corzi se poate observa și cu ochiul liber; dacă atingem cu degetul un corp care vibrează, atît vibrația cît și sunetul încetează. Prin urmare, izvorul de sunete trebuie să fie, în orice caz, un corp elastic. Sunetul se produce odată cu vibrațiile și încetează odată cu ele.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă apăsăm pe diferite clape ale unui pian, sau dacă lovim două coarde ale unei chitare, auzim sunete diferite. Şi vocile oamenilor se deosebesc: la unii vocea este mai subţire, la alţii mai groasă. Dacă atingem cu o placă dinţii unei roţi dinţate în mişcare se vor produce de asemenea sunete. Cu cît vom roti cu o viteză mai mare roata dinţată, cu atît va vibra mai repede şi discul de carton, iar urechea noastră va percepe sunete din ce în ce mai înalte. Înălţimea unui sunet depinde de viteza cu care corpul elastic execută vibraţiile. Numărul de vibraţii efectuate într-o secundă se numeşte frecvenţă. Înălţimea sunetului depinde deci de frecvenţă, crescînd odată cu ea.

În muzică alegem ca etalon sunetul a cărui frecvenţă este de 440 vibraţii pe secundă; el se numeşte „la" natural.

Dacă frecvenţa unui sunet este dublul frecvenţii unui al doilea sunet, spunem că primul este octava celui de al doilea. De exemplu, frecvenţa octavei sunetului cu 261,5 vibraţii pe secundă are 523 vibraţii pe secundă.

Nu putem lua cunoştinţă de existenţa unei surse de sunete atunci cînd între noi şi această sursă există un mediu conducător. S-a demonstrat, experimental, că sunetul nu se propagă în vid, ci numai prin medii elastice. Aerul este şi el un mediu elastic. Sursa care produce sunetele face ca particulele de aer ce se găsesc în apropierea ei, să vibreze. Acestea lovesc particulele vecine, care, la rîndul lor, lovesc celelalte particule.

Cînd particulele de aer transmit sunetul, ele execută o mişcare aproximativ asemănătoare cu aceea pe care ar avea-o un acordeon sau vagoanele unui

Scanned with OKEN Scanner

tren în mers. La propagarea sunetului, particulele de aer nu avansează, ci mereu alte particule se apropie și se depărtează, la fel ca în cazul acordeonului. direcția mișcării lor concordînd cu direcția de propagare. O astfel de mișcare se numește mișcare ondulatorie longitudinală.

Să lovim o frînghie lungă, întinsă, în apropierea unuia dintre capetele fixate. Frînghia se îndoaie în locul în care a fost lovită, dar se rotunjește în sens invers în locul următor; se formează astfel un maxim și un minim. Dacă privim frînghia, vedem cum maximul și minimul se propagă de-a lungul frînghiei. În realitate fiecare punct al frînghiei execută o mișcare perpendiculară pe direcția propagării, numai că punctele mai îndepărtate de locul atingerii execută mișcarea mai tîrziu decît cele mai apropiate. Un fenomen asemănător acestuia putem observa dacă aruncăm o piatră într-un lac liniștit. Energia cinetică a pietrei este absorbită de apa lacului și dă naștere unei mișcări ondulatorii. Aici, particulele de lichid se mișcă perpendicular pe direcția de propagare a undelor. Mișcarea ondulaotrie, la care particulele care transportă energia se miscă perpendicular pe direcția de propagare, se numește mișcare ondulatorie transversală. După cum am mai amintit, sunetul se propagă sub forma unei mișcări ondulatorii longitudinale. Desigur, pentru propagarea pe o anumită distanță este nevoie de un anumit timp. Viteza de propagare depinde de mai mulți factori: de densitatea mediului, de elasticitatea lui, de temperatură, de umiditate etc. Într-un aer curat și uscat, la 15°C, viteza de propagare a sunetului este de 340 m/s. Corpurile solide conduc mai bine sunetul decît aerul. Materialele mai puțin dense, ca postavul, vata, cenușa sînt rele conducă-

Scanned with OKEN Scanner

toare. Dăm mai jos viteza de propagare a sunetului la O°C, pentru cîteva medii:

aer	333 m/s
plumb	1 300 „
hîrtie de scris	2 100 „
apa mării	1 510 „
gheață	3 600 „
fier	5 000 „
aluminiu	5 100 „
sticlă	5 100 „

Inafară de viteza de propagare a sunetului și de frecvența lui, trebuie să cunoaștem încă o noțiune foarte importantă, și anume noțiunea de lungime de undă a sunetului. Se numește lungime de undă, distanța pe care o parcurge sunetul în timpul unei vibrații complete. Această distanță este formată dintr-o comprimare și o destindere. Dacă, de exemplu, știm că frecvența sunetului este 435 și că viteza de propagare în aer, la 15°C, este de 340 m/s, putem calcula cîte comprimări și destinderi se produc de-a lungul acestor 340 m, adică cît de mare este lungimea de undă a acestui sunet. Impărțind viteza sunetului prin frecvența lui, obținem lungimea de undă a sunetului (fig. 2).

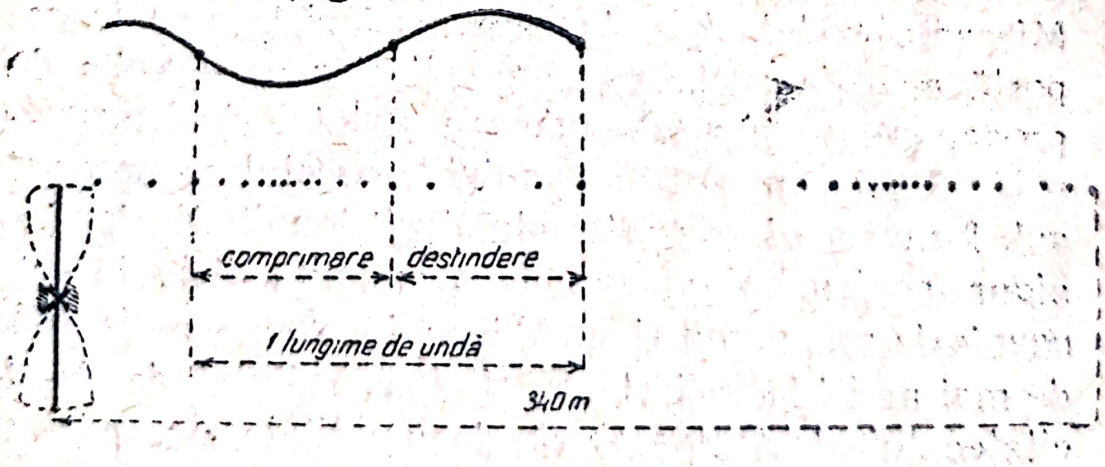


Fig. 2. Calcularea lungimii de undă

In cazul de față:

$$430 \frac{m}{s} : 435 \frac{1}{s} \; 0{,}78 \text{ m}.$$

Desigur, lungimea de undă a acestui sunet va fi alta într-un mediu în care viteza de propagare va avea altă valoare. În cazul mișcării ondulatorii transversale (de exemplu în cazul mișcării ondulatorii a frînghiei), lungimea de undă este compusă dintr-un maxim și un minim. La propagarea sunetului în locul maximelor și al minimelor găsim comprimări și destinderi.

2. PROPRIETĂȚILE CARACTERISTICE ALE SUNETULUI

Din cele de mai sus reiese limpede că proprietatea caracteristică mai importantă a sunetului este frecventa lui. Aceasta determină tonul sunetului. Lungimea de undă a sunetului nu depinde numai de sunet, ci și de mediul prin care acesta se propagă. Lungimea de undă a aceluiași sunet este mu mult mai mare în apă decît în aer. Ce se întîmplă însă, dacă lovim mai puternic aceeași coardă sau dacă lovim mai tare același diapazon? Auzim oare alt sunet? Se schimbă în acest mod frecventa? Nicidecum. Sunetul va fi mai puternic, iar distanța la care va ajunge sunetul va fi mai mare. Un sunet mai puternic va produce în aerul înconjurător destinderi si comprimări mai puternice. În locurile în care aerul este comprimat sau destins, va varia însă și presiunea atmosferică. Această variație nu este prea mare; cei cu timpan fin, chiar la variații mici de presiune, simt dureri puternice (să ne gîndim numai la loviturile de tun). Presiunea provocată de sunet, într-un punct oarecare ale mediului înconjurător, prin care se propagă unda sonoră, se numește presiune acustică. O ureche sănătoasă percepe o variație de presiune corespunzătoare presiunii produse de o greu-

Scanned with OKEN Scanner

tate egală cu o suta milioana parte dintr-un miligram repartizată pe 1 cm². Vorbirea obișnuită produce o variație de presiune de un milion de ori mai mare (aceasta corespunde unei sutimi de miligram). Lovitura de tun care cauzează dureri urechii, produce o presiune acustică de un milion de ori mai mare decît vorbirea obișnuită.

La propagarea sunetului energia este aceea care se propagă și de aceea întîlnim deseori expresia de putere acustică. Aceasta este cu atît mai mare, cu cît trece mai multă energie, în timp de o secundă, printr-o suprafață de 1 m², perpendiculară pe direcția de propagare.

Puterea acustică, în practică, se măsoară prin numărul de wați pe 1 cm². Puterea acustică a loviturii de tun amintite mai sus este de 0,001 W/cm².

Să lovim acum o coardă întinsă și apoi s-o atingem ușor la mijloc cu o pană sau cu un bețișor. Sunetul produs de coardă nu dispare complet. Auzim un sunet stins, dar totuși ușor de perceput; acest sunet este octava sunetului precedent. Dacă atingem coarda la o treime din lungimea ei, vom auzi un sunet a cărui frecvență este triplul frecvenței sunetului produs de coardă normal. Primul sunet se numește fundamentala corzii, pe cînd celelalte sînt armonicele ei. Putem demnostra prin acest procedeu că, împreună cu fundamentala corzii, se mai aud și numeroase alte sunete produse de coardă. Frecvența acestor este de 2, 3, 4 ori mai mare decît frecvența fundamentalei. Armonicele sînt mult mai slabe decît fundamentala și, din cauza aceasta, nu se pot deosebi de ea, dacă se aud simultan. Armonicele dau sunetului unui anumit instrument, un anumit timbru. Prin aceasta se deosebește sunetul produs de pian sau de vioară, de cel produs de vocea omenească chiar atunci cînd au aceeași frecvență.

Scanned with OKEN Scanner

3. PRAGUL AUDIBILITĂȚII. ULTRASUNETELE

Este un lucru cunoscut că pragul audibilității variază de la caz la caz. Un om care trăiește în mijlocul naturii percepe zgomote oricît de slabe, pe care un om obișnuit cu zgomotul permanent al unui mare oraș, chiar foarte atent fiind, nu le poate percepe. Problema determinării precise a pragului audibilității s-a ivit pentru prima oară în medicină. La sfîrșitul secolului trecut s-a construit prima instalație cu care s-a putut determina nu numai pragul inferior, ci și pragul superior al audibilității. Instalația era compusă dintr-o coardă întinsă pe o cutie de rezonanță. Prin variația lungimii corzii se puteau produce sunete de diferite tonuri. Astfel s-au obținut primele date numerice relativ la pragul audibilității. Conform acestor date, omul nu poate auzi sunete a căror frecvență este mai mică de 20, după cum nu poate percepe nici sunetele a căror frecvență depășește 20 000. Fizicienii au convenit asupra faptului că frecvența de oscilație a unui corp elastic care execută o vibrație în timp de o secundă să fie luată ca unitate de măsură; această unitate se numește herț (după numele lui Hertz, fizician cu mari merite în domeniul undelor radio). Multipli herțului sînt: kiloherțul (kHz), care este de 1 000 ori mai mare decît herțul și megaherțul (mHz), care este de un milion de ori mai mare decît herțul. Folosind aceste notații, pragurile audibilității sînt cuprinse între 20 Hz și 20 kHz sau, după date mai recente, 16 Hz și 16 kHz. Este ușor să ne convingem că sub frecvența de 16 Hz, nu se aud sunete. Ce se întîmplă însă la o frecvență mai mare de 20 kHz? Nu este suficient să producem vibrații care nu sînt percepute de ureche, ci trebuie să demonstrăm că într-adevăr aceste vibrații există în realitate. Pentru aceasta este necesar să examinăm proprietățile vibrațiilor. Acestea sînt proble-

Scanned with OKEN Scanner

mele pe care le aveau în față fizicienii, într-o vreme în care importanța lor practică nu era tocmai clară. Să calculăm cît de lungă trebuie să fie lama de oțel, cu ajutorul căreia să putem produce o frecvență mai mare de 20 kHz. Cu ajutorul tabelei anterioare putem determina care este viteza de propagare a sunetului în oțel: 5000 m/s. Dacă prindem cu o menghină lama

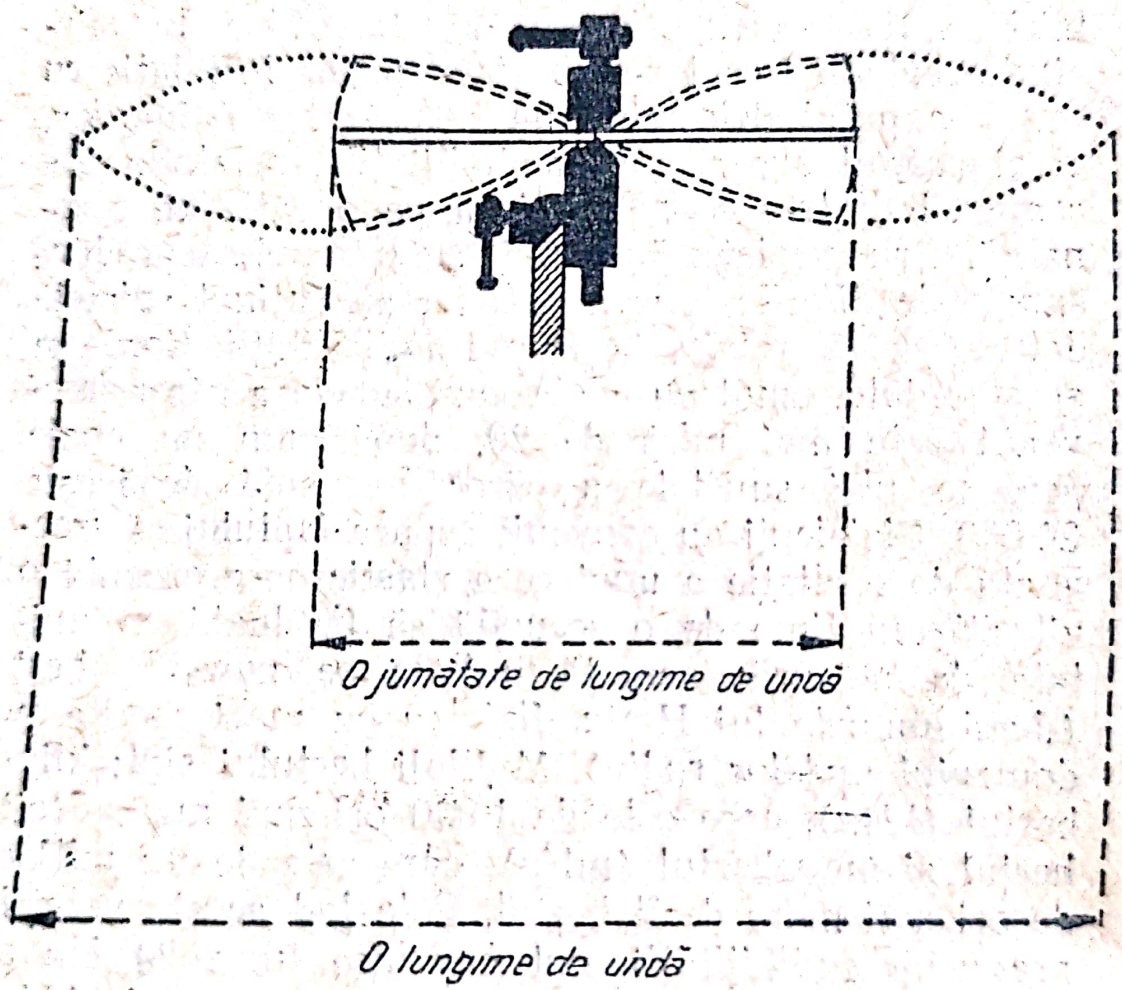


Fig. 3. Lungimea de undă a lamei vibrante prinsă la mijloc în menghină

de oțel la mijlocul ei, după cum se vede în fig. 3, vom produce un sunet cu o fundamentală a cărei lungime de undă este dublul lungimii lamei; deci lungimea lamei este egală cu jumătate din lungimea de undă (fig. 3).

Scanned with OKEN Scanner

Impărțind 5 000 $\frac{m}{s}$ prin 20 000 $\frac{1}{s}$, obținem lungimea de undă căutată: 5 000 $\frac{m}{s}$: 20 000 $\frac{1}{s}$ = 0,25 m a cărei jumătate este 12,5 cm. Prin urmare va trebui să luăm o lamă de oțel de aproximativ 12—13 cm, pe care va trebui s-o strîngem cu o menghină; lovind-o la capăt, vom face ca lama să vibreze longitudinal, producînd astfel niște sunete care abia se aud. Cu lame de oțel mai scurte decît aceasta se pot produce vibrații pe care urechea omenească aproape că nu le percepe. Aceste vibrații pe care urechea omenească nu le percepe, se numesc *ultrasunete*. Va trebui să demonstrăm că și în acest caz, undele se propagă în aer și că proprietățile acestor unde sînt, în general, aceleași cu ale undelor sonore. Aceasta va fi însă subiectul unuia dintre capitolele următoare. Procedeele descrise pînă acum și cele ce vor fi expuse în cele ce urmează sînt așa de simple, încît cu ajutorul lor oricine poate produce ultrasunete. Am vorbit despre coarda întinsă pe o cutie de rezonanță, cu ajutorul căreia s-a reușit (la sfîrșitul secolului trecut), să se producă sunete cu frecvențe care depășesc pragurile de audibilitate ale urechii omenești. Procedul lamei de oțel datează tot de la sfîrșitul secolului trecut. Prin ambele procedee se pot atinge frecvențe de 25—30 kHz.

Primele cercetări care au dat rezultate satisfăcătoare au fost perfecționate rapid. In 1898, Melde a produs ultrasunete cu ajutorul unei plăci rotunde de oțel, prinsă la mijloc într-o menghină. Cu o placă avînd diametrul de 35 mm, au fost generate ultrasunete avînd frecvența de 35 kHz.

In anul următor s-a atins limita de 100 kHz. Un alt cercetător, cu numele de König, a construit dia-

pazoane de 1—2 mm, cu ajutorul cărora a produs ultrasunete cu o frecvență de 90 kHz.

In prezent aceste dispozitive prezintă însă numai o importanță istorică. Ele reprezintă primele încercări, fără rezultate practice. Importanța lor constă în aceea că au pus în evidență ultrasunetele.

4. ULTRASUNETELE IN NATURA

Prin descoperirea ultrasunetelor au putut fi lămurite unele fenomene „misterioase" pentru care existau pînă atunci tot felul de explicații mistice. Experiențele referitoare la auzul cîinilor și al pisicilor au dovedit că pragul superior de audibilitate al acestora este de 40 kHz. El este de două ori mai mare decît frecvența percepută de un om cu un simț auditiv foarte dezvoltat. Datorită acestor fapte, este natural ca un cîine să-și ciulească urechea cînd vînătorul încă nu aude nimic. S-au făcut de asemenea observații foarte interesante în legătură cu sunetele percepute de insecte. Cel mai interesant este însă cazul liliacului. In urmă cu 150 de ani, savantul italian Spallanzani a întreprins îndelungate cercetări în legătură cu liliecii. El a căutat cauza pentru care liliacul se poate orienta atît de bine în întuneric. Are el oare, vederea atît de ageră? Nu. Acoperind ochii liliacului, acesta s-a putut orienta tot atît de bine ca și mai înainte. Cînd i s-a acoperit în schimb gura sau i s-au acoperit urechile, liliacul a „orbit", adică nu s-a mai putut orienta. Cu ajutorul ultrasunetelor au putut fi explicate aceste fenomene, de neînțeles pînă atunci. Insă, nici cei mai mari savanți nu au putut da acestor probleme un răspuns riguros științific, pe timpul primelor cercetări în domeniul ultrasunetelor. Explicația definitivă a fenomenului a dat-o R. Galombos în anul 1942.

Scanned with OKEN Scanner

pazoane de 1—2 mm, cu ajutorul cărora a produs ultrasunete cu o frecvență de 90 kHz.

In prezent aceste dispozitive prezintă însă numai o importanță istorică. Ele reprezintă primele încercări, fără rezultate practice. Importanța lor constă în aceea că au pus în evidență ultrasunetele.

4. ULTRASUNETELE IN NATURĂ

Prin descoperirea ultrasunetelor au putut fi lămurite unele fenomene „misterioase" pentru care existau pînă atunci tot felul de explicații mistice. Experiențele referitoare la auzul cîinilor și al pisicilor au dovedit că pragul superior de audibilitate al acestora este de 40 kHz. El este de două ori mai mare decît frecvența percepută de un om cu un simț auditiv foarte dezvoltat. Datorită acestor fapte, este natural ca un cîine să-și ciulească urechea cînd vînătorul încă nu aude nimic. S-au făcut de asemenea observații foarte interesante în legătură cu sunetele percepute de insecte. Cel mai interesant este însă cazul liliacului. In urmă cu 150 de ani, savantul italian Spallanzani a întreprins îndelungate cercetări în legătură cu liliecii. El a căutat cauza pentru care liliacul se poate orienta atît de bine în întuneric. Are el oare, vederea atît de ageră ? Nu. Acoperind ochii liliacului, acesta s-a putut orienta tot atît de bine ca și mai înainte. Cînd i s-a acoperit în schimb gura sau i s-au acoperit urechile, liliacul a „orbit", adică nu s-a mai putut orienta. Cu ajutorul ultrasunetelor au putut fi explicate aceste fenomene, de neînțeles pînă atunci. Insă, nici cei mai mari savanți nu au putut da acestor probleme un răspuns riguros științific, pe timpul primelor cercetări în domeniul ultrasunetelor. Explicația definitivă a fenomenului a dat-o R. Galombos în anul 1942.

Scanned with OKEN Scanner

5. CUM SE POT OBSERVA ULTRASUNETELE

Avînd lungimea de undă excepțional de mică, ultrasunetele nu se pot observa prin aceleași procedee ca și sunetele obișnuite. De exemplu, lungimea de unda a ultrasunetului a cărui frecvență este de 100 kHz, în aer este de 0,34 cm (adică 3—4 mm), în apă de aproximativ 1,5 cm, iar în oțel de aproximativ 5 cm. Astăzi se pot produce ultrasunete cu o frecvență mult mai mare. Producerea unor ultrasunete avînd frecvențe de 10—20 MHz nu mai întîmpină astăzi nici un fel de dificultăți. Din cele mai recente comunicări, rezultă că în laboratoarele sovietice se produc ultrasunete cu frecvențe mai mari de 1 000 MHz.

Ultrasunetele cu o frecvență mai mică se pot observa destul de simplu. Procedeul este asemănător aceluia cu ajutorul căruia se pot observa sunetele obișnuite. Deși prin aceste metode nu se pot executa măsurări precise, totuși, pe lîngă că sînt simple, ele ne conving că este posibilă efectuarea lor. Acum să ne ocupăm însă mai de aproape de undele staționare.

Să fixăm pe un perete un capăt al unei corzi cu o lungime de 3—4 m. Dacă mișcăm ritmic capătul liber, de-a lungul corzii se vor produce unde. Anumite puncte ale corzii vor sta pe loc tot timpul, iar altele vor vibra fără întrerupere, dar nu așa cum s-a arătat în paragrafele anterioare. În acele cazuri unda se propaga de-a lungul frînghiei. În cazul de față, deplasările maxime ale diferitelor puncte sînt diferite. Această undă se produce prin însumarea undei incidente, care se îndreaptă spre perete, cu unda reflectată. Asemenea unde, avînd anumite puncte care execută în permanență aceeași mișcare (fig. 4), se numesc unde staționare, iar punctele care nu se mișcă, se numesc noduri. Două noduri vecine se

Scanned with OKEN Scanner

găsesc la o distanță de o jumătate de o lungime de undă.

Unde staționare se produc de asemenea dacă lovim o coardă, întinsă pe o cutie de rezonanță, într-un punct depărtat de un capăt la un sfert din lungimea

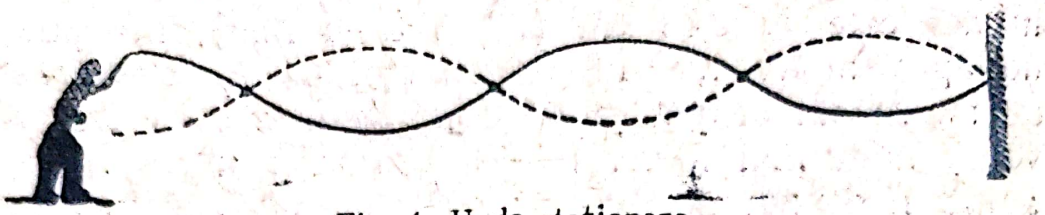


Fig. 4. Unde staționare

corzii. Călărețiî de hîrtie așezați pe partea mai lungă a corzii, înafară de aceia aflați chiar în noduri, vor zbura (pe coardă vor rămîne numai călărețiî așezați la un sfert și la jumătate din lungimea corzii). Din cauza lungimilor de undă mici, acest procedeu este aplicabil și în domeniul ultrasunetelor. În 1866, Kundt a produs unde staționare în aer, pe care le-a observat apoi cu ajutorul rumegușului de plută așezat într-un tub lung de sticlă. Prin această experiență se pot determina viteza de propagare a sunetelor în diferite medii.

Recomandăm cititorului să execute și el această experiență după procedeul simplu, recomandat de Öveges József. Nu sînt necesare decît un tub de sticlă, lung de 20—30 cm, cu diametrul de 20—40 mm și o vergea de sticlă, lungă de 50—60 cm. Aceasta putem s-o confecționăm dintr-un tub subțire de sticlă, căci nu este necesar să fie masivă. La unul din capetele tubului lipim o foaie de hîrtie, iar apoi îl umplem cu rumeguș de plută. La un capăt al vergelei de sticlă montăm un disc de plută. Diametrul discului trebuie să fie puțin mai mic decît diametrul tubului de sticlă. Dacă vom fixa vergeaua de sticlă la mijlocul ei și o vom freca apoi cu o bucată de postav umed sau cu dop de plută, vom auzi un sunet foarte

subțire. Dacă vom îndrepta tubul de sticlă cu capătul său liber spre vergea și-l vom mișca, îndepărtîndu-l și apropiindu-l de aceasta pe direcția vergelei, vom putea constata că rumegușul de plută intră în vi-

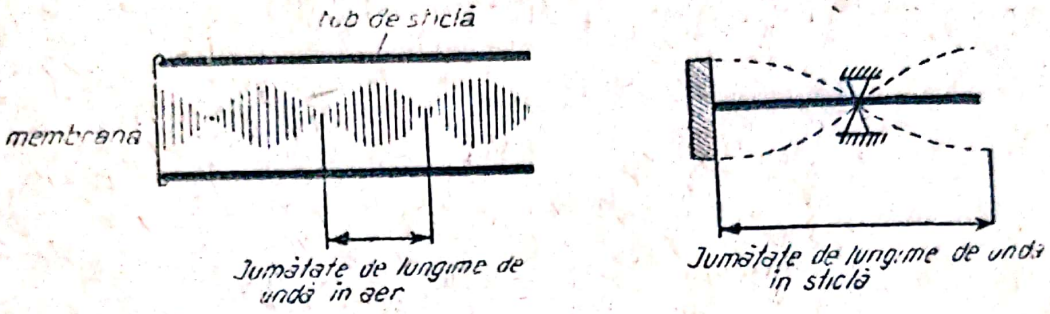


Fig. 5. Tubul lui Kundt

brație în anumite puncte din interiorul tubului, iar în alte puncte, distanțate cu jumătate din lungimea de undă a sunetului, apar noduri. Măsurînd distanța dintre două noduri, putem calcula lungimea de undă a sunetului în tub. Lungimea de undă a sunetului în aer o vom calcula înmulțind cu 2 distanța dintre două noduri; cu ajutorul vitezei de propagare și a lungimii de undă se poate determina frecvența (fig. 5).

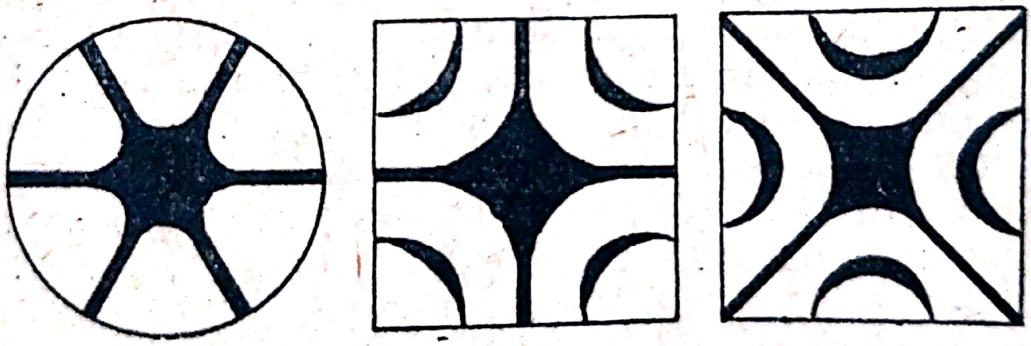


Fig. 6 *a*. Figuri Chladni

Procedeul prin care fizicianul Chladni a examinat vibrația plăcilor și a membranelor este asemănătoare cu cel precedent. El punea în vibrație plăcile lovindu-le ușor cu o vergea. Praful de pe plăci se așeza în lungul liniilor de noduri (fig. 6, *a*).

Scanned with OKEN Scanner

Cu mici modificări, aceste procedee se pot aplica și ultrasunetelor, dacă lungimea lor de undă nu este mai mică decît 1—2 cm. Pentru experiențe se utilizează rumeguș de plută sau praf de licopodiu [1]) care se presară pe plăci. În apropierea corpului care vi-

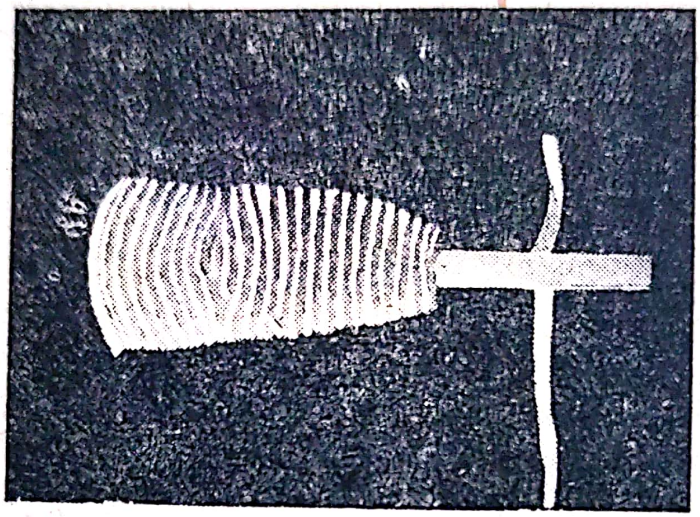


Fig. 6, *b*. Studierea ultrasunetelor cu ajutorul prafului de licopodiu

brează se așază un reflector (o plăcă metalică concavă). Rumegușul de plută se așează de-a lungul unor dungi fine perpendiculare pe direcția de propagare. Liniile de noduri se găsesc la o distanță de o jumătate de lungime de undă între ele. Prin acest procedeu se poate măsura aproximativ, lungimea de undă. În 1931, Straubel a măsurat, în același mod, lungimea de undă a ultrasunetelor (fig. 6, *b*). Experiența lui este interesantă în special prin aceea că arată clar, că placa concavă reflectă ultrasunetele, după cum o oglindă concavă reflectă razele de lumină (fig. 6, *b*). În locul rumegușului de plută se poate folosi praf fin de cuarț. Pe placa de sticlă, așezată în drumul undelor, se poate presăra praf de

[1]) Pulbere foarte fină constituită din sporii plantei Licopodium Clavatum. (N. trad.).

Scanned with OKEN Scanner

cocs, obținindu-se și în acest caz linii de noduri așezate la o distanță de 1—2 cm între ele. Putem fixa aceste linii de noduri folosind ulei viscos sau parafină colorată și încălzită. În fig. 6, *c* se văd astfel de

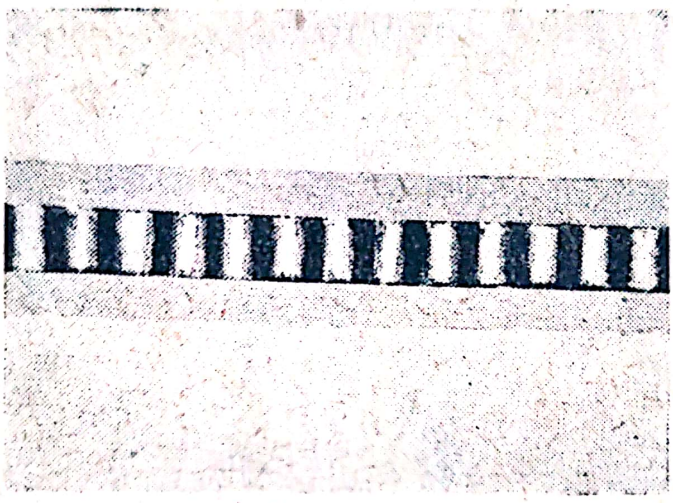


Fig. 6, *c*. Studierea ultrasunetelor cu ajutorul prafului de licopodiu

linii de noduri fixate. Vergeaua de sticlă cu un diametru de 8 mm produce ultrasunete cu o frecvență de 285 kHz. Liniile de noduri au putut fi observate cu ajutorul licopodiului. Undele staționare pot fi observate și în lichide cu ajutorul prafului de cocs. Acesta se depune ușor în lichide și se strînge în noduri. Praful de cocs depus pe fundul vasului ne arată care este forma undelor staționare. Fotografia din fig. 6, *d* a fost făcută prin acest procedeu; ea reprezintă undele produse de două lame de cuarț în vibrație. Prin procedee optice, s-au putut observa liniile de noduri (uniforme și foarte clare) care apar pe plăci de sticlă în vibrație (fig. 6, *e*) și pe lamele de cuarț în vibrație.

Fizicianul ceh Dvorak a măsurat lungimea de undă a ultrasunetelor prin niște procedee foarte interesante. El a așezat un tub de sticlă umplut pe

Scanned with OKEN Scanner

jumătate cu lichid, în faţa obiectului care vibra, pe direcţia de propagare a undelor. Cum presiunea

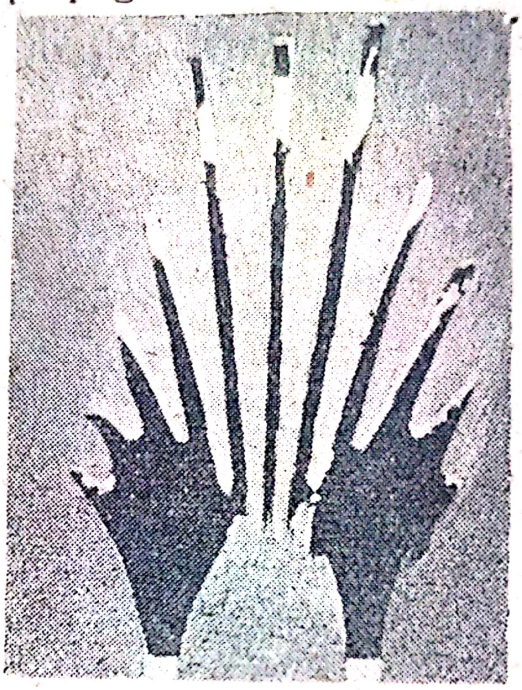


Fig. 6, *d*. Interferenţa a două unde ultrasunet produse de către două lame de cuarţ în vibraţie, observată cu ajutorul prafului de cocs

creşte la noduri, iar în celelalte locuri scade, lichidul din interiorul tubului ia forma undei. Această

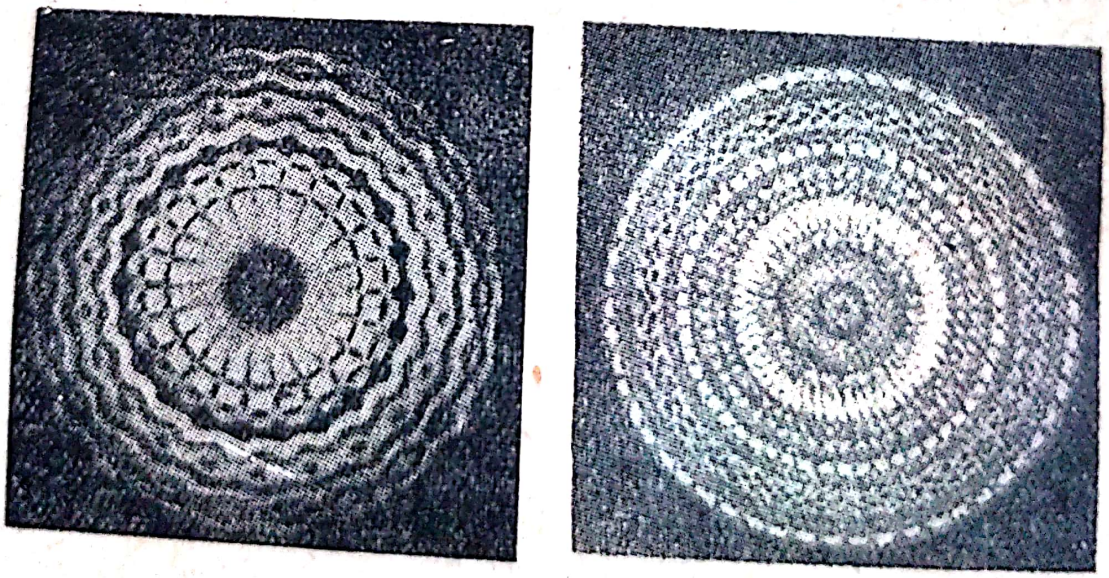


Fig. 6, *e*. Fotografii ale liniilor de noduri care apar pe plăci de sticlă care vibrează cu o frecvenţă foarte mare

Scanned with OKEN Scanner

undă se poate observa bine cu ajutorul unui aparat de proiecție care mărește.

Astăzi, în afara acestor procedee intuitive, simple, ne stau la dispoziție și alte procedee mai precise

Fig. 6, /. Fotografii ale liniilor de noduri care apar pe lame de cuarț care vibrează

pentru măsurarea lungimii de undă a ultrasunetelor. Acestea, nu vor fi tratate însă în lucrarea de față.

6. FLUIERE PENTRU PRODUCEREA ULTRASUNETELOR

Importantele descoperiri în legătură cu ultrasunetele nu au satisfăcut totuși toate speranțele. Cu sursele descrise pînă acum s-a confirmat existența ultrasunetelor. Dar ultrasunetele produse în acest fel nu puteau fi folosite pentru măsurări. Lama sau coarda lovită produc sunete care slăbesc repede și nu se mai aud. Spunem că ele se sting. Dacă intensitatea unui sunet scade repede, măsurarea precisă devine foarte dificilă sau chiar imposibilă de cele mai multe ori. Cu asemenea metode nu s-au putut produce ultrasunete cu frecvențe înalte și de intensitate constantă. Deoarece din punct de vedere practic, nici frecvența și nici intensitatea undelor produse nu sînt cele dorite, aceste metode nu sînt com-

Scanned with OKEN Scanner

plet acceptabile. Primele surse de ultrasunete cu frecvențe înalte și de intensitate constantă au fost fluierele. În aceste fluiere, vibrația nu este produsă de către un corp solid, ci se pune în vibrație direct aerul sau un alt gaz. Se știe că dacă suflăm aer printr-un tub sau printr-o cheie cu gaură se produce un sunet. Fluierele se pot împărți în două grupe principale: pentru buze și pentru limbă. Fluierele pentru buze au o deschizătură, a cărei jumătate are forma unei pene. Aerul suflat se lovește de pană și jumătate trece în mediul înconjurător, iar jumătate intră în tub. În interiorul tubului, aerul intră în vibrație și produce sunetul. Undele reflectate de celălalt capăt al tubului se întîlnesc cu undele incidente și se produc unde staționare. La fluierele pentru limbă, aerul suflat face să vibreze o lamă metalică subțire. Fluierele pentru producerea ultrasunetelor se pot împărți în două grupe. Primului grup îi aparțin fluierele la care aerul care intră în tub întîlnește o muchie ascuțită; aceasta constituie o variantă a fluierelor de buze cunoscute din acustică. Cel mai vechi fluier de acest fel este așa-numitul fluier al lui Galton. Fiindcă aceasta a fost prima sursă de ultrasunete utilizabile și fiindcă principiul de funcționare al celor mai multe fluiere pentru producerea ultrasunetelor este asemănător, ne vom ocupa mai îndeaproape de el. Aspectul exterior și secțiunea lui se pot vedea în fig. 7, *a* și *b*.

În exterior, fluierul lui Galton se aseamănă cu un șurub micrometric. Deasupra și dedesuptul lui se găsește cîte un disc rotund ce se poate roti, iar la capătul său superior se află o mică deschidere pentru suflat. Funcționarea sa este următoarea: aerul este suflat prin capătul A al fluierului, în deschiderea circulară B. De aici aerul ajunge la vîrful rotund C. Ca și la fluierile obișnuite, la acest vîrf se produc vîrtejuri de aer, care variază periodic. La capătul

Scanned with OKEN Scanner

inferior al fluierului, se găsește o deschidere cilindrică D. Lungimea acesteia poate fi variată cu ajutorul unui piston F, comandat printr-un șurub micrometric E. În funcție de lungimea coloanei de aer, se produc ultrasunete cu lungimi de undă diferite. Acordul

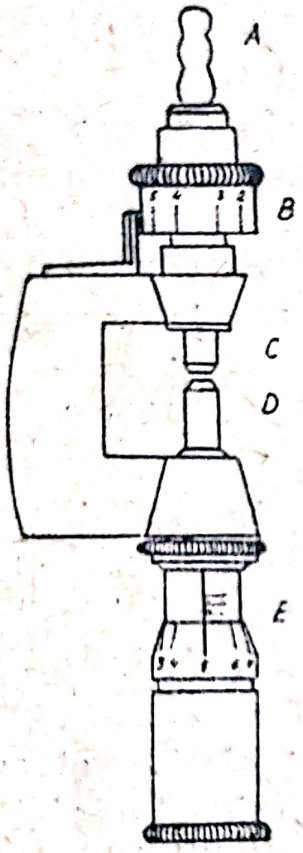


Fig. 7, *a*. Fluierul lui Galton

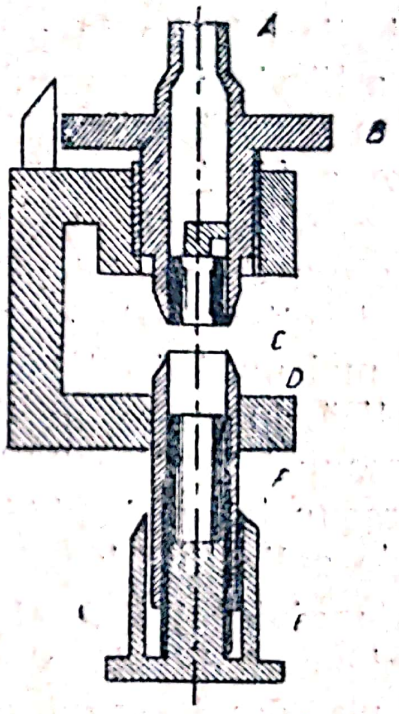


Fig. 7, *b*. Secțiune în lungul fluierului lui Galton

se realizează prin variația lungimii coloanei de aer Prin măsurarea precisă a lungimii coloanei de aer se poate determina exact lungimea de undă; acest fapt constituie un mare avantaj. Dar nici cu acest fluier nu putem depăși frecvențe mai înalte de 100 kHz. Avantajul lui față de fluierile precedente este însă foarte mare: frecvența se menține constantă, iar puterea poate fi mărită prin mărirea diametrului tubului de suflat. Teoretic, fluierul lui Galton se

Scanned with OKEN Scanner

poate utiliza și în lichide; practic, însă nu. Abia în 1948 Janvoski și Pohlmann au reușit, printr-un alt procedeu, să producă ultrasunete în lichide.

Cu ajutorul așa numitului generator cu gaze al lui Hartmann, a cărui funcționare se bazează pe faptul că presiunea unui gaz, în anumite cazuri, variază cu o viteză mai mare decît presiunea aerului, se pot atinge intensități sonore de ordinul waților. Aceasta reprezintă o putere foarte mare prin comparație cu puterile folosite în acustică. In apropierea unui tun de artilerie, în momentul descărcării acestuia, intensitatea sonoră este aproximativ de 0,001 W/cm². Cel care a făcut această constatare și-a dat seama că nu era tocmai plăcut. Astăzi se produc frecvent ultrasunete cu intensități de 40—50 W/cm²; deci aceste ultrasunete au intensități de 40 000—50 000 de ori mai mari decît lovitura de tun. Această diferență explică în mare parte posibilitatea de utilizare a ultrasunetelor. Posibilitatea de a varia intensitatea ultrasunetelor deschide perspective noi în ce privește aplicațiile lor.

Cu ajutorul fluierelor s-au putut efectua și experiențe mai dificile. S-a putut determina cu ajutorul lor nu numai pragul superior al audibilității, ci s-au efectuat măsurări precise privitor la absorbția ultrasunetelor în diferite medii. S-a stabilit că solidele și lichidele conduc sunetele mai bine decît aerul. Experiențele făcute cu ajutorul ultrasunetelor au dovedit că aerul le absoarbe puternic. Cristalele (de exemplu de cuarț), sînt bune conducătoare. In această perioadă de cercetare a ultrasunetelor, au apărut lucrări teoretice și practice foarte numeroase. Cea mai importantă dintre acestea este lucrarea lui Neklepajev, apărută în 1911 care, explicînd corect absorbția ultrasunetelor, a deschis drumul spre dezvoltarea mai departe a cercetărilor în acest domeniu.

7. SCUFUNDAREA VAPORULUI TITANIC ȘI CERCETĂRI ÎN DOMENIUL ULTRASUNETELOR. PRIMELE SUCCESE MARI

Anul 1912 a însemnat o cotitură hotărîtoare în cercetările întreprinse în domeniul ultrasunetelor. In acest an a naufragiat vaporul Titanic. Acest naufragiu a pus prima problemă practică cercetătorilor, care n-au putut însă s-o rezolve imediat. Problema era următoarea : să se construiască o sursă de ultrasunete, care, fiind așezată în apă, să folosească la descoperirea ghețarilor plutitori cu ajutorul semnalelor reflectate. L. Richardson a fost primul care s-a ocupat de această problemă. El a așezat în calele vapoarelor, fluiere care produceau ultrasunete; ultrasunetele erau apoi unite în fascicule paralele, cu ajutorul unor oglinzi parabolice, asemănătoare reflectoarelor de la automobile. Experiențele s-au soldat printr-un eșec. Astăzi știm că nereușita se datorește faptului că sursele nu produceau unde suficient de puternice, iar unirea în fascicule nu era la fel de bună ca la reflectoarele automobilelor, deoarece lungimea de undă a ultrasunetelor era mult mai mare decît a luminei. Cînd a izbucnit primul război mondial, experiențele lui Richardson au fost date uitării. Ulterior, problema a fost reluată însă sub altă formă: determinarea precisă a locului submarinelor. Aceasta era o problemă care nu suferea nici o amînare. Sarcina era dificilă, deoarece cercetările relative la ultrasunete erau încă la începutul lor; totuși, doi savanți au acceptat că lucreze în acest domeniu, ducînd această sarcină în mare măsură la bun sfîrșit. După doi ani de muncă încordată, profesorii Langevin și Kilovski au realizat (în 1916) o instalație, cu ajutorul căreia se puteau produce ultrasunete cu o frecvență de 100 KHz. Puterea instalației nu era însă corespunzătoare. Kilovski a dus mai departe aceste cercetări.

Scanned with OKEN Scanner

El a observat că în domeniul ultrasunetelor întîlnim frecvențe tot atît de mari ca acelea utilizate în radio; dacă aceste oscilații electrice ar fi transformate în oscilații mecanice, s-ar putea obține prima sursă de ultrasunete utilizabile în practică.

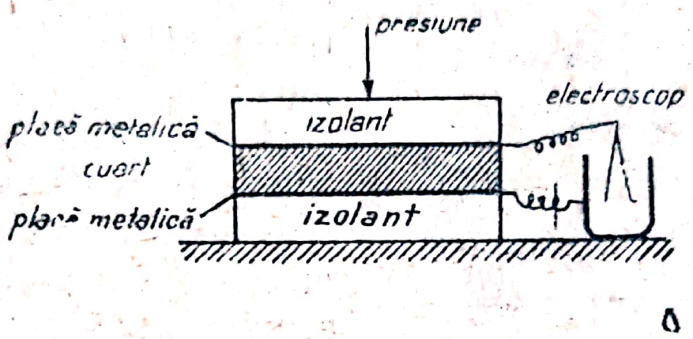
Langevin a continuat cercetările pe linia indicată de Kilovski, reușind ca în anul 1918 să construiască prima instalație de emisie și recepție (pentru ultrasunete) utilizabilă în practică. Pentru ca să putem înțelege principiul de funcționare a acestei prime instalații, trebuie să cunoaștem un fenomen deosebit de important pentu cercetarea ultrasunetelor: efectul piezoelectric.

8. EFECTUL PIEZOELECTRIC

Efectul piezoelectric nu a fost descoperit de către Langevin. În anul 1880, frații Curie, în timpul experiențelor cu cristale de turmalină, au observat că la întinderea și la îndoirea cristalelor de turmalină, pe unele fețe ale lor apar sarcini electrice. Mai tîrîzu, ei au observat acest efect și la alte cristale și l-au numit efect prizoelectric, sau mai exact, efect piezoelectric direct. Vorbind de cristale, ne amintim fără să vrem de cristalele de sare sau de galenă (utilizate la aparatele de radio), adică de niște corpuri cu fețe netede. Acestea sînt într-adevăr cristale. Astăzi însă se numără printre cristale nu numai aceste corpuri de formă prismatică, ci și altele: aceasta deoarece calitatea de cristal este dată de structură și nu de aspectul exterior. Metalele, de exemplu, sînt formate din foarte multe cristale mărunte. Aceste cristale pot fi observate pe suprafețele metalice lustrite prin corodare. Dacă la presarea sau la întinderea unui cristal după o anumită direcție, apar pe anumite fețe sar-

Scanned with OKEN Scanner

cini electrice, spunem că acest cristal este piezoelectric. Frații Curie nu numai că au observat acest fenomen, dar au stabilit și legile după care are loc. Încă de la primele lor încercări, ei au reușit să stabilească proporționalitatea sarcinii electrice ce apare



a

Fig. 8, *a*. Efectul piezoelectric

de presiune sau de forța de întindere (pentru o forță de două ori mai mare apare, o sarcină electrică dublă). De aceasta ne putem convinge, în modul cel mai simplu, prin următoarea experiență: să fixăm o placă de cuarț între două plăci metalice aplicate pe două fețe opuse (fig. *8, a)* și să legăm la cele două plăci metalice un instrument de măsurat tensiunea electrică (lipim două foițe de staniol la capătul unei vergele de sticlă, pe care le legăm la una dintre plăci, cealaltă fiind legată la pământ; acest instrument se numește electroscop). Dacă vom apăsa placa de cuarț cu o forță de 1—2 kg, foițele de staniol se vor îndepărta. Aceasta înseamnă că pe suprafața cuarțului au apărut sarcini electrice. Putem obține o îndepărtare mai mare a foițelor de staniol, folosind mai multe plăci (fig. 8, *b*). Dintre plăcile metalice, vom pune la pământ pe cele notate cu numere cu soț, iar pe cele notate cu numere fără soț, le vom lega la instrumentul indicator de tensiune. După cum se vede și în figură, a doua placă o așezăm astfel ca pe fața ei superioară să apară sarcini electrice de

același sens cu cele care apar pe fața inferioară a primei plăci.

Dacă anulăm presiunea aplicată cristalului și îl supunem la întindere, sensul sarcinilor electrice se va schimba. Efectul piezoelectric a fost observat mai tîrziu și la alte cristale. Dintre acestea, cel mai important este cristalul de cuarț. În prezent cunoaștem multe cristale piezoelectrice cu proprietăți asemănătoare, dar nici unul nu întrece cuarțul (trebuie amintit că, de exemplu, acidul tartric și zahărul candel prezintă efect piezoelectric). Efectul piezoelectric nu este în legătură cu sistemul de cristalizare căruia îi aparține cristalul. Cristalele piezoelectrice au totuși o proprietate comună și anume aceea că au axă de polarizare. Pentru a înțelege noțiunea de axă de polarizare, să privim fig. 9. În această figură este reprezentat un cristal de cuarț, cu șase fețe laterale mari, care se taie după 6 muchii. Cele trei axe orizontale X_1, X_2 și X_3 trec prin muchiile opuse. Să examinăm mai atent axa X_3; în partea stîngă a figurii ea intersectează muchia *E*, la capetele căreia sînt cele două fețe notate prin *a* și *b*; în partea cealaltă, intersectează muchia *D*, la capetele căreia nu există astfel de suprafețe. Aceiași remarcă se poate face și pentru axele X_1 și X_2. Aceasta se poate exprima și prin aceea că dacă rotim cristalul cu 180° în jurul axei *Z* (muchia

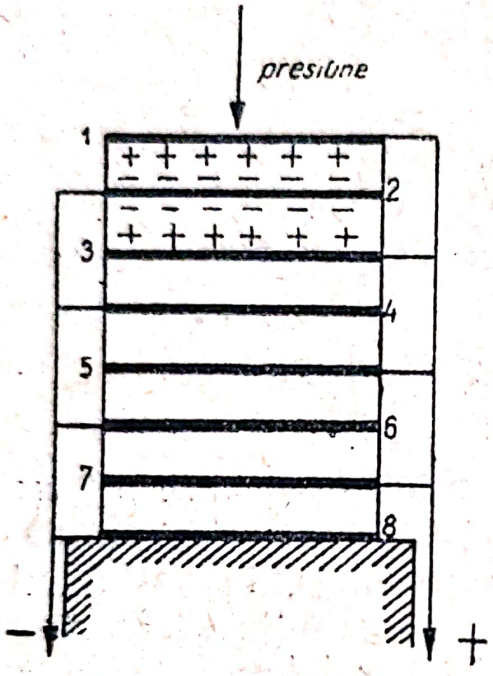


Fig. 8, *b*. Conectarea plăcilor de cuarț

D ajunge în locul muchiei E), în această nouă poziție, cristalul nu se mai comportă exact ca în poziția anterioară. Aceasta înseamnă că cele două puncte de întretăiere nu pot fi schimbate între ele. Axele cristalului ale căror puncte de întretăiere cu muchiile

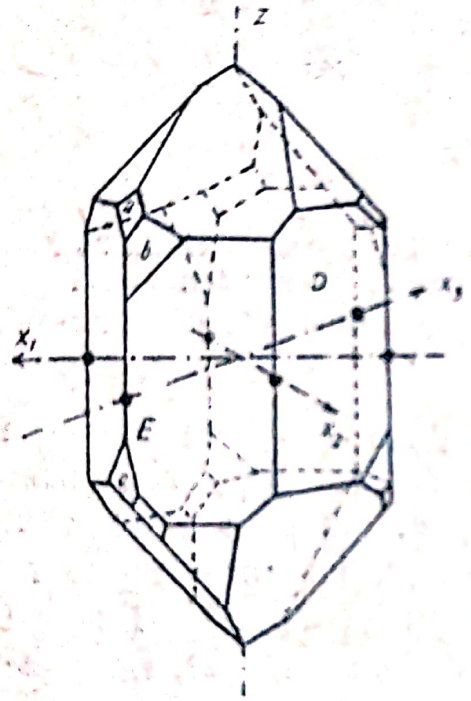


Fig. 9. Cristalul de cuarț

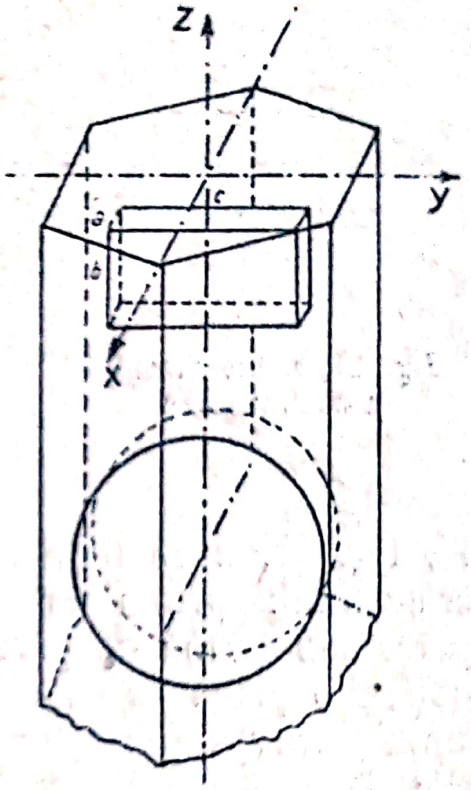


Fig. 10, *a*. Tăierea unor plăci de forme speciale dintr-un cristal de cuarț

nu se pot schimba între ele, sînt numite *axe de polarizare*. Cristalul din fig. 9 are trei axe de polarizare: X_1, X_2 și X_3. Axa Z, în schimb nu este o axă de polarizare, deoarece rotind cristalul cu 180° în jurul oricăreia dintre axele X, cristalul se comportă la fel ca în poziția anterioară. Axa Z este numită *axa optică* a cristalului.

Pentru o utilizare optimă trebuie să tăiem din cristal o placă în așa fel, încît, la o anumită presiune sau

Scanned with OKEN Scanner

întindere, să apară un număr maxim de sarcini electrice. Pentru aceasta, placa se taie astfel ca să aibă două fețe perpendiculare pe una dintre axele de polarizare (după cum se vede în fig. 10, *a*). Această axă se numește axa electrică sau axa piezoelectrică.

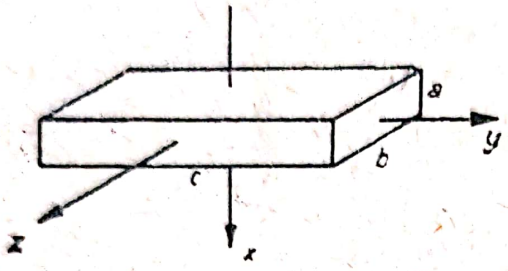


Fig. 10, *b*. Cristalul paralelipipedic

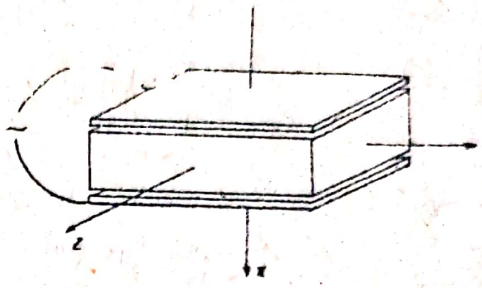


Fig. 10, *c*. Așezarea cristalului de cuarț între plăcile unui condensator

Pe fig. 10, *a* se indică două posibilități de tăiere a cristalului: prima are ca rezultat obținerea unei plăci sub formă de paralelipiped, iar prin a doua se obține o placă sub formă de disc. În ambele cazuri, două dintre suprafețele plăcii sînt perpendiculare pe axa *X* (deci axa *X* este o axă piezoelectrică). La cristalul tăiat în formă de paralelipiped, muchia *a* este paralelă cu axa *X*, muchia *b* cu axa *Z*, iar muchia *c* cu cea de treia axă. Axa *(Y)* se numește axa mecanică. În fig. 10 *b* se vede cristalul tăiat sub formă de paralelipiped.

Pe baza experiențelor efectuate cu plăci de cuarț, frații Curie au stabilit următoarele legi:

1) Dacă presăm cristalul în direcția axei X, pe fețele perpendiculare pe axa X vor apare sarcini electrice, cele de pe fața superioară avînd semn pozitiv. Acesta este *efectul piezoelectric direct longitudinal*.

2) Dacă presăm cristalul în direcția axei Y, fețele perpendiculare pe această axă se vor încărca de aseme-

nea. Acesta este *efectul piezoelectric direct transversal.*

3) Dacă însă presăm cristalul în direcția axei *Z*, efectul piezoelectric nu are loc.

Acestea sînt, pe scurt, rezultatele la care au ajuns frații Curie, rezultate de la care a pornit Langevin. El însă nu a folosit efectul piezoelectric direct, ci efectul reciproc, care se datorează reversibilității efectului piezoelectric. Dacă așezăm un cristal piezoelectric între plăcile unui condensator, conectat într-un circuit de curent alternativ, astfel încît plăcile condensatorului să fie perpendiculare pe axa piezoelectrică a cristalului, la trecerea curentului, cristalul se va scurta sau se va lungi în direcția axei respective. Mai înainte, prin presiunea aplicată cristalului, se ajungea la apariția sarcinilor electrice; acum tensiunea alternativă aplicată cristalului provoacă lungirea sau scurtarea lui. Dacă frecvența curentului alternativ este mare, cristalul poate produce ultrasunete.

Să așezăm acum placa de cuarț, tăiată așa cum s-a specificat mai înainte, între plăcile unui condensator conectat într-un circuit de curent alternativ. Datorită tensiunii alternative, cristalul va executa vibrații în direcția axelor *X* și *Y*. Cînd pe fața superioară apare o sarcină pozitivă, cristalul se lungește în direcția axei *X*, iar în direcția axei *Y* se scurtează. Pentru producerea ultrasunetelor se întrebuințează, în general, vibrația produsă în direcția axei *X*. *Aceasta se numește vibrația în grosime.*

Intensitatea efectului piezoelectric, în cazul cuarțului, variază cu temperatura, fiind maximă în jurul temperaturii de 200°C. La temperaturi cuprinse între 20—30°C, această variație este neglijabilă. La temperaturi mai mari, intensitatea efectului piezoelectric scade simțitor, iar la temperatura de 573°C, efectul nu se mai observă. La producerea vibrațiilor, trebuie să ținem seamă că se poate sparge cuarțul. Pentru

Scanned with OKEN Scanner

determinarea presiunii și intinderii maxime pe care le poate suporta cuarțul fără să se spargă s-au făcut calcule exacte. Calculele au arătat că la intindere, cuarțul se sparge mai ușor decît la presare. Limita forței de întindere este de 13 kg/mm² (aproximativ de zece ori mai mare decît forța de întindere admisibilă). În prima instalație de recepție și emisie construită de Langevin se foloseau astfel de cristale de cuarț; astăzi însă, pe lîngă aceste cristale, foarte scumpe și greu de procurat, se întrebuințează și cristale produse în laboratoare.

Langevin a utilizat nu un singur cristal, ci un mozaic de cristale de cuarț cu grosimea de aproximativ 2 mm, pe care le-a fixat între două plăci de oțel groase de 3 mm și cu un diametru de 25 cm. Pe vremea aceea se puteau obține deja cu ajutorul tuburilor electronice curenți alternativi de frecvențe ridicate; acești curenți puteau fi folosiți deci pentru producerea de vibrații întreținute.

Cum se pot produce vibrații cu ajutorul tuburilor electronice? Tubul electronic este format dintr-un balon de sticlă în care s-a făcut vid și în care există niște electrozi. Unul dintre electrozi este încălzit printr-o metodă oarecare (de obicei cu ajutorul curentului electric). Electrodul încălzit emite electroni (electronul poartă sarcina electrică negativă elementară). În fața electrodului încălzit se găsește un alt electrod (placa), care se leagă la polul pozitiv al unei baterii de acumulatoare. Datorită atracției exercitate de placa pozitivă, electronii se vor îndrepta spre ea și astfel va lua naștere un curent electric. De obicei placa nu este așezată în fața electrodului încălzit (catodul) ci înconjoară acest electrod. Astfel, placa absoarbe toți electronii care pleacă de la catod în direcția ei. Placa se mai numește și anod. Să așezăm acum între anod și catod o grilă metalică, pe care s-o legăm la o sursă de curent; celălalt pol al sursei

Scanned with OKEN Scanner

de curent să-l legăm la catod. Circuitul astfel realizat îl numim circuit de grilă; cel în care este conectat anodul, îl numim circuit anodic. Cu ajutorul circuitului de grilă se poate regla numărul de electroni ce ajung la anod. Putem spune deci că grila comandă curentul anodic. Dacă în circuitul anodic conectăm un circuit oscilant, oscilațiile acestuia pot fi întreținute datorită cuplării cu o bobină similară din circuitul de grilă. Pe aceasta se bazează funcționara instalațiilor care produc oscilații întreținute. Prin urmare, tubul electronic este utilizat nu numai pentru amplificare și redresare, ci și pentru producerea de oscilații întreținute.

Langevin a întrebuințat în instalația sa de emisie și recepție oscilații produse de tuburi electronice. Placa de cuarț așezată între plăcile condensatorului unui circuit oscilant supus la oscilații întreținute, intră în vibrație. Oscilațiile întreținute produse în acest fel sînt lipsite de dezavantajele întîlnite pînă acum și au o putere suficient de mare.

Prin acest procedeu s-a reușit să se producă ultrasunete suficient de puternice cu o frecvență de 40 kHz. Instalația de recepție este construită în mod asemănător, la placa de cuarț, în locul circuitului oscilant, fiind legat un amplificator.

9. MAGNETOSTRICȚIUNE

Anul 1918 este considerat ca anul în care au fost începute cercetările științifice în domeniul ultrasunetelor. Atunci s-a construit prima instalație de emisie și recepție; au trebuit însă să treacă mulți ani pînă cînd aceste instalații să fie perfecționate într-atît, încît să se poată stabili precis efectele fizice și chimice ale ultrasunetelor în diferitele domenii de utilizare.

Scanned with OKEN Scanner

În acești ani s-au elaborat numeroase procedee noi pentru producerea ultrasunetelor. Elaborarea unia dintre aceste procedee arată clar interesul cu care savanții anului 1920 studiau ultrasunetele. Primele instalații cu magnetostricțiune au fost construite cu totul independent, în același timp, în trei țări diferite. Savanul ucrainean Kopilovici este unul din deținătorii primelor brevete.

Pentru înțelegerea principiului de funcționare a instalației, trebuie să cunoaștem efectul magnetic al curentului electric. Pe acest efect se bazează funcționarea multor aparate. În fiecare zi folosim aceste aparate: soneria, telefonul, telegraful, etc. Datorită fenomenelor electromagnetice funcționează instalațiile de iluminare electrică, mijloacele de transport electric, mașinile din industria poligrafică etc.

Să așezăm în interiorul unei bobine, paralel cu axa ei, o vergea sau un tub de nichel și să trecem prin bobină un curent continuu. Datorită efectului magnetic al curentului, lungimea vergelei (sau a tubului) de nichel variază; odată cu încetarea curentului, vergeaua (sau tubul) își recapătă lungimea anterioară. Variația lungimii este atît de mică încît nici nu se poate observa cu ochiul liber; există în schimb anumite metode prin care se pot mări aceste mici variații de lungime, astfel încît devin vizibile. Acest fenomen a fost observat încă din anul 1847 de către Joule, care a căutat să stabilească dacă variația lungimii depinde sau nu de sensul curentului. Dacă bobina este parcursă de curent alternativ, frecvența de variație a lungimii vergelii este de două ori mai mare decît frecvența curentului alternativ. Acest efect nu se poate observa la toate metalele. Variața lungimii tubului (sau a vergelei) depinde de temperatură, de intensitatea cîmpului magnetic produs de curentul alternativ și de magnetizarea permanentă a tubului. Prin magnetizare permanentă se obține o amplifi-

Scanned with OKEN Scanner

care a variației lungimii vergelei și se poate face ca frecvența de variație a lungimii vergelei să fie egală cu frecvența curentului care parcurge bobina. In afara nichelului, mai sînt și alte materiale care prezintă fenomenul de magnetostricțiune. Pentru construirea unei instalații de emisie, nu avem nevoie decît să

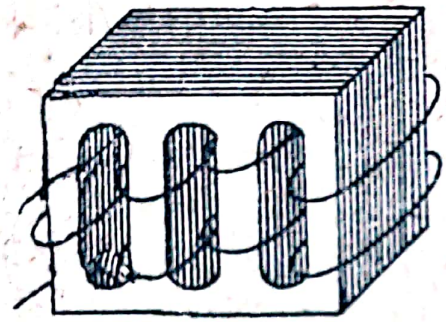


Fig. 11, *a*. Instalație cu magnetostricțiune.

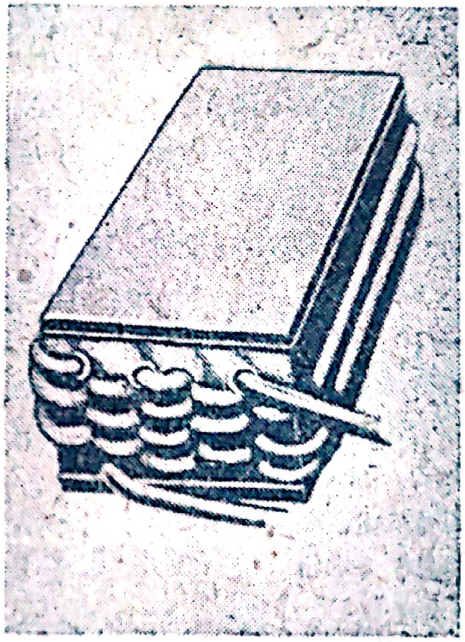


Fig. 11, *b*. Emițător de ultrasunete cu magnetostricțiune

conectăm bobina la o sursă de curent a cărei frecvență să fie egală cu frecvența ultrasunetului pe care vrem să-l producem. Tubul va vibra longitudinal și se vor produce ultrasunete. Trebuie să avem însă grijă ca vergeaua să poată vibra liber în interiorul bobinei.

De ce nu s-a utilizat oare acest fenomen încă mai demult pentru producerea ultrasunetelor? Pentru a respecta adevărul istoric, trebuie să arătăm că la sfîrșitul secolului trecut s-a propus folosirea acestui fenomen, dar tehnica nu era încă suficient dezvoltată pentru a putea rezolva în acest fel problema generării ultrasunetelor.

Curenții turbionari produși în vergeaua de nichel reduc amplitudinea de variație a lungimii vergelei.

Scanned with OKEN Scanner

Din cauza aceasta, în practică, în instalațiile producătoare de ultrasunete, se folosesc tole subțiri (fig. 11, *a*), acoperite cu lac izolant (ca cele folosite pentru transformatoare).

Rolul instalației producătoare de vibrații în aparatele cu magnetostricțiune nu este numai acela de a radia ultrasunete; vibrația tubului poate fi folosită și în alte scopuri. Am amintit că odată cu variația cîmpului mganetic variază și lungimea vergelei. Să variem acum lungimea vergelei; aceasta va provoca apariția unui cîmp magnetic în jurul vergelei și anume a unui cîmp magnetic variabil. Dacă ne reamintim de funcționarea tubului electronic, ca generator de oscilații, ne dăm seama că vergeaua de nichel, vibrînd, provoacă variația cîmpului magnetic, care variație poate induce în circuitul de grilă o tensiune care să întrețină oscilațiile.

10. PROPRIETĂȚILE ULTRASUNETELOR

Datorită perfecționării instalațiilor de emisie și recepție ultrasonice, în anul 1930 a devenit posibilă studierea tuturor proprietăților ultrasunetelor. De acum, ultrasunetele încep să-și găsească noi aplicații în toate ramurile tehnicii. Succesul nu se datorește însă exclusiv rezultatelor cercetărilor din domeniul ultrasunetelor. În primul rînd, marea dezvoltare a radiotehnicii a făcut posibilă realizarea unei serii de experiențe cu hipersunete, adică cu vibrații cu frecvențe mai mari de 100 MHz. Această frecvență nu constituie însă limita superioară la care se poate ajunge. După afirmațiile lui S. A. Sokolov, viitorul apropiat va dovedi că, și în acest domeniu, se poate merge cu mult mai departe. Astăzi, producerea ultrasunetelor cu frecvențe apropiate de frecvențele radiațiilor invizibile nu mai este de domeniul imaginației.

Scanned with OKEN Scanner

Aceste ultrasunete de frecvență mare, așa numitele hipersunete, pot fi utilizate nu numai în tehnica ultrasunetelor, ci chiar și în fizică, (în special în optică).

În cele ce vor urma, vom arăta cele mai importante proprietăți ale ultrasunetelor.

Una dintre problemele cele mai importante este gradul în care diferitele materiale absorb ultrasunetele. Cu această problemă s-au ocupat cercetătorii încă de la descoperirea ultrasunetelor, însă rezultate experimentale precise s-au putut obține numai atunci cînd producerea ultrasunetelor nu a mai fost legată de anumite dificultăți. În laboratoarele sovietice, sub conducerea profesorului S. A. Sokolov, s-au efectuat astfel de experiențe. Scopul experiențelor era să verifice datele teoretice, care nu au putut fi controlate din lipsă de aparate perfecționate. Cu ani în urmă, de exemplu, s-au stabilit teoretic anumite proprietăți ale hipersunetelor cu frecvențe de 1000 MHz și mai mari; aceste date însă nu au putut fi verificate experimental, deoarece abia în 1951 au putut fi produse hipersunete cu frecvențe atît de mari.

Experiențele au demonstrat că mediile omogene solide, de exemplu cristalele, absorb ultrasunetele în măsură mai mică decît celelalte medii. Să vedem ce importanță are acest fapt în cazul lungimilor de undă mici. Aci nu este vorba de mărimi care pot fi percepute direct de simțuri; este vorba de mărimi cu ajutorul cărora putem cunoaște lumea moleculelor. Să luăm, de exemplu, cazul oțelului; va trebui să producem oscilații cu o frecvență de 1000 MHz.

Viteza de propagare fiind aproximativ de 5 000 $\frac{m}{s}$, lungimea de undă va fi

$$5\,000\,\frac{m}{s} : 1\,000\,000\,000\,\frac{1}{s} = 0{,}0005\ cm.$$

Mărind frecvența, lungimea de undă va scădea și mai mult; la lungimi de undă mici contează și modul de așezare a moleculelor. Moleculele pot schimba direcția de propagare a ultrasunetelor la fel ca în cazul radiațiilor luminoase. Astfel, ultrasunetele au devenit unul din mijloacele de cercetare ale fizicii atomice moderne. Experiențele au folosit la stabilirea proprietăților nucleului atomic și a influenței ce o are nucleul asupra absorbției ultrasunetelor și au furnizat date asupra existenței legăturii între lungimea de undă a ultrasunetului ce străbate un corp și dimensiunile nucleului atomic și asupra motivului pentru care unele metale sînt foarte puțin transparente pentru ultrasunete. Conform ipotezei enunțate, moleculele metalului produc difracția ultrasunetelor la fel cum sticla translucidă produce difracția luminii.

In cazul acestor experiențe se procedează în felul următor: materialul de cercetat este iradiat cu ultrasunete care sînt reflectate sau refractate (absorbite de mediul respectiv). Pentru evitarea reflecțiilor multiple, se ultilizează impulsuri foarte scurte (cu o durată egală cu a mia parte dintr-o secundă); după parcurgerea corpului examinat, ultrasunetele sînt recepționate. De obicei se folosesc receptori piezoelectrici. Receptorul se așază pe una dintre fețele perpendiculare pe direcția de propagare a ultrasunetelor. Cristalul de cuarț absoarbe undele incidente și intră astfel în vibrație, datorită căruia fapt apare o diferență de potențial variabilă între fețele sale. Tensiunea electrică obținută este amplificată cu ajutorul tuburilor electronice și apoi este aplicată la bornele unui aparat de măsurat cu care se pot observa variațiile rapide ale tensiunilor. Aceste aparate se numesc osciloscrafe. Pentru măsurări precise se întrebuințează așa numitul osciloscraf catodic. Tubul catodic este astăzi indispensabil în cele mai diferite ramuri ale

Scanned with OKEN Scanner

tehnicii. Să vedem cum este construit și cum funcționează un astfel de tub.

Să lipim două discuri metalice la cele două capete ale unui tub de sticlă lung de 50—60 cm. Punem acest tub în legătură cu o pompă pneumatică. Realizăm apoi o diferență de potențial mare (de mai multe mii de volți) între cele două discuri metalice (polul negativ este constituit de catod iar cel pozitiv de anod). La presiunea atmosferică normală, nu vom obține nici o descărcare. Dacă însă cu ajutorul pompei pneumatice vom micșora suficient presiunea, se va produce o descărcare sub forma unui arc subțire (ca o panglică), de culoare violetă. La o scădere foarte mare a presiunii, dispar treptat toate fenomenele luminoase și numai în fața catodului mai rămîne o zonă luminoasă albastră sau verde (culoarea depinde de materialul din care este construit tubul). Acest fenomen este produs de către radiațiile invizibile emise de către catod, radiații care de fapt sînt de natură electronică. Electronii pot fi deviați cu ajutorul unui cîmp electric sau magnetic. Dacă așezăm în fața catodului o grilă, fasciculul care trece prin acesta va produce pe peretele de sticlă din fața lui o mică pată luminoasă. După poziția punctului luminos, se pot determina caracteristicile cîmpului electric sau magnetic care produce devierea fasciculului.

La oscilograful catodic, prin deschizătura din fața catodului trece un fascicul de electroni destul de îngust. Peretele tubului din fața catodului se execută puțin concav. Acest perete se acoperă cu o substanță luminescentă de culoare verde sau albastră. Fasciculul electronic produce pe acest perete (ecran) o pată luminoasă fixă. În partea îngustă a tubului se montează două perechi de plăci perpendiculare între ele (astfel de tuburi sînt reprezentate în fig. 19). Fasciculul electronic va trece printre aceste plăci,

Scanned with OKEN Scanner

Dacă aplicăm uneia dintre cele două perechi de plăci o tensiune, pata luminoasă se mișcă; în cazul unei tensiuni variabile, pata luminoasă își schimbă continuu locul, făcînd să apară pe ecran o dreaptă orizontală sau verticală. Dacă se aplică și celeilalte perechi de plăci o tensiune variabilă, dreapta se poate transforma într-o sinusoidă. Acest lucru îl vom înțelege mai ușor dacă vom executa următoarea experiență simplă: Fixăm o sîrmă subțire pe brațul unui diapazon și apoi lovim diapazonul. Capătul sîrmei va descrie pe o placă de sticlă înnegrită o dreaptă. Să mișcăm acum diapazonul pe o direcție perpendiculară pe această dreaptă; capătul sîrmei va descrie de data aceasta o sinusoidă. La fel sinusoida care apare pe ecranul oscilagrafului este rezultatul compunerii a două mișcări care au loc pe direcții perpendiculare una pe alta.

După cum am mai amintit, placa de cuarț a receptorului va intra în vibrație sub acțiunea ultrasunetelor și, între fețele ei, va apărea o diferență de potențial variabilă. Această diferență de potențial nu este însă suficientă pentru ca să poată produce o deviație apreciabilă a fasciculului electronic. Tensiunea furnizată pe placa de cuarț va trebui, deci să fie amplificată mai întîi cu ajutorul unor amplificatoare cu tuburi electronice. Pata luminoasă va trasa pe ecranul osciloscopului o sinusoidă care va indica variația tensiunii aplicate.

Din experiențele făcute rezultă că în cazul în care ultrasunetele trec prin medii omogene, pe ecranul osciloscopului apare o curbă sinusoidă ale cărei amplitudini scad foarte încet (fig. 12). Pentru a putea vedea influența pe care o au dimensiunile nucleelor atomice asupra absorbției ultrasunetelor, s-au examinat ultrasunete care străbătuseră piese de formă specială din cupru, fier sau alte metale. Rezultatele experiențelor au arătat că absorbția ultrasune-

Scanned with OKEN Scanner

telor depinde de elasticitatea mediului și de frecvența ultrasunetului. Elemente cu greutate atomică mare absorb în general mult mai puternic ultrasunetele, decît cele cu greutate atomică mică. Absorbția crește

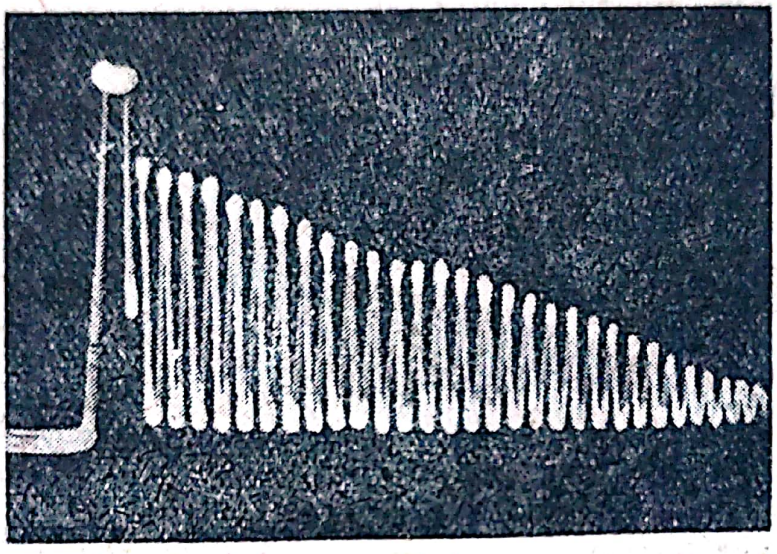


Fig. 12. Reflectarea ultrasunetelor într-un mediu omogen (în cuarț, la 100 Mhz)

cu frecvența ultrasunetelor, dar nu în aceeași măsură. La o creștere a frecvenței de 4 sau de 9 ori, absorbția va crește doar de 2, respectiv de 3 ori.

Caracteristicile enumerate mai sus rezultă clar din forma curbei care apare pe ecranul oscilografului. Dacă este nevoie de un mediu omogen, absorbția este mică și pe ecranul oscilografului apar niște sinusoide ale căror amplitudini descresc foarte încet. Dacă în interiorul cristalului există vreo ruptură, forma curbei se schimbă. Pe cale experimentală s-a arătat că cristalul de cuarț este supus atît la vibrații longitudinale cît și la vibrații transversale.

Tot experiențelor li se datorește cea mai recentă descoperire a lui Sokolov, care, într-un viitor apropiat, va fi pe deplin clarificată. Executînd o serie de experiențe cu o placă de cuarț, el a observat pe o fotografie a ultrasunetelor reflectate niște linii su-

Scanned with OKEN Scanner

plimentare (fig. 13). Pe lîngă liniile corespunzătoare undelor rezultate din reflecții repetate, se mai vedeau niște linii de 4 ori mai rare ca cele precedente, linii care indicau prezența unor unde produse de

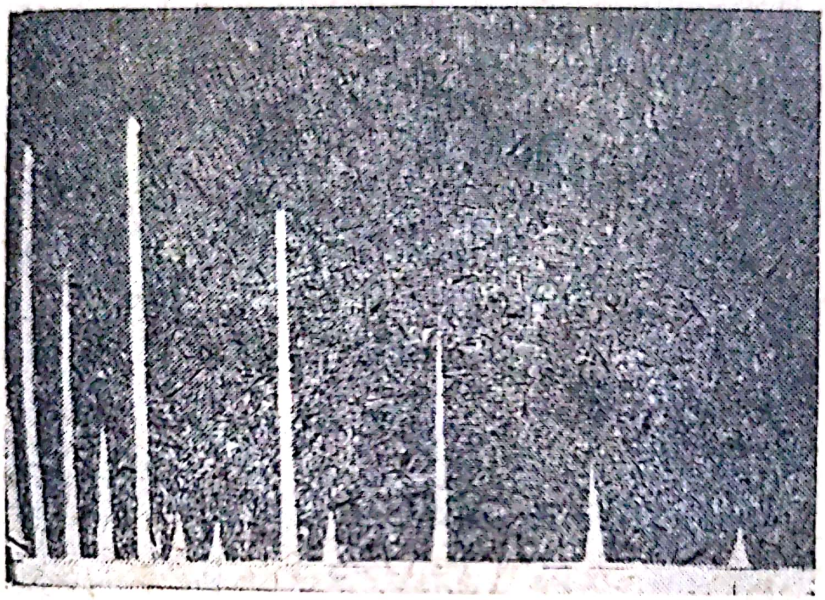


Fig. 13. Unde capilare (fotografie depe ecranul osciloscopului)

cauze necunoscute. Remarcabilul savant a dedus din aceasta, că în interiorul cuarțului, în afară de undele care se propagă cu o viteză de 5 000 m/s și a căror reflecție regulată se poate observa pe partea stîngă a figurii, există și alte unde, a căror viteză de propagare este de 4 ori mai mică, respectiv de 1 250 m/s (în partea dreaptă a figurii se observă aceste semne, mai scurte și mai rare). Aceste unde au fost numite capilare și, este de așteptat ca prin cercetările ulterioare, Sokolov să confirme existența acestor unde. Dacă el va verifica această ipoteză printr-o altă metodă, va indica prin aceasta un nou domeniu de utilizare a ultrasunetelor.

Cînd am studiat feonmenul piezoelectric am vorbit de cele trei axe ale cristalelor (axa optică, axa me-

Scanned with OKEN Scanner

canică și axa electrică). S-a stabilit că cuarțul nu absoarbe în mod uniform ultrasunetele pe aceste trei direcții. Prin urmare, același cristal absoarbe în

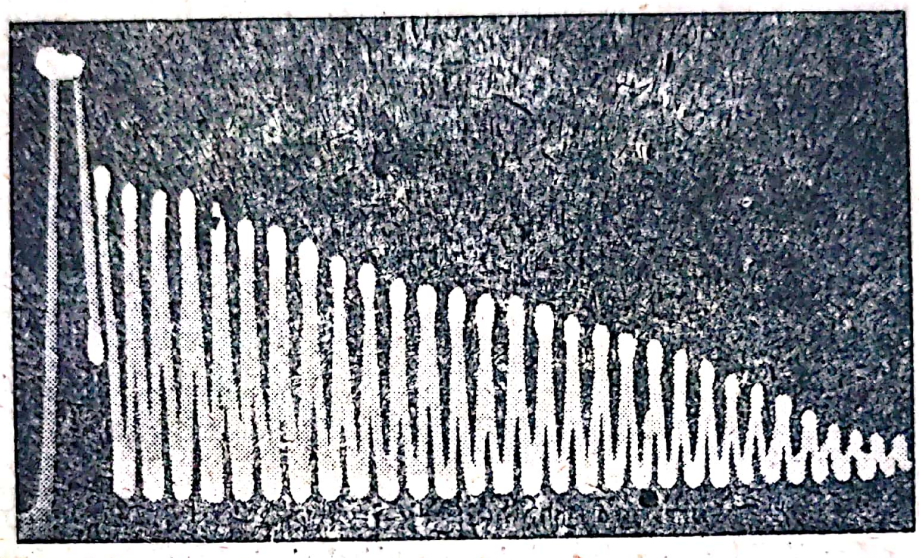
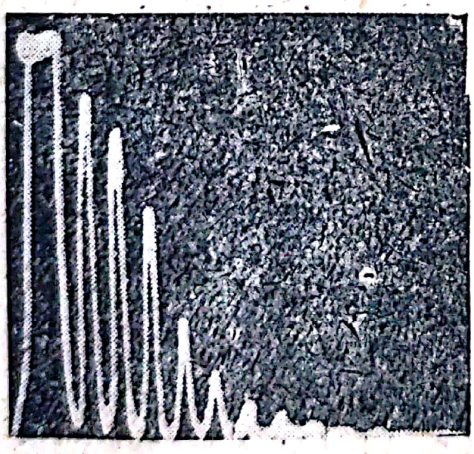
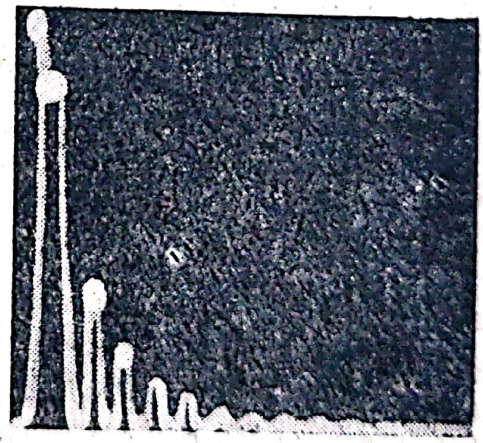


Fig. 14. Reflectarea ultrasunetelor după direcțiile celor trei axe ale cristalului de cuarț:
a — axa optică; *b* — axa electrică; *c* — axa mecanică





mod diferit ultrasunetele care îl străbat, după direcții diferite. Absorbția cea mai mare se observă pe direcția axei electrice, iar absorbția cea mai mică pe direcția axei optice (fig. 14 *a*, *b* și *c*). Pe figură se pot

Scanned with OKEN Scanner

vedea reflecțiile obținute în cazul unui ultrasunet cu frecvența de 100 MHz, de-a lungul celor trei axe ale cristalului de cuarț. Să observăm că, pe cînd reflecția în direcția axei optice este destul de puternică, în direcția axei electrice reflecția este foarte slabă. Această comportare a cristalului este cauzată probabil de efectul piezoelectric.

În ultimii ani au fost descoperite multe dintre proprietățile ultrasunetelor; unele dintre acestea diferă de proprietățile undelor sonore. Să luăm un exemplu simplu. Să iradiem un vas umplut cu ulei, cu ultrasunete de frecvență înaltă. Termometrul așezat în ulei va indica ridicarea temperaturii. Prin urmare, ultrasunetele produc încălzirea mediului în care se propagă.

După cum am amintit mai înainte, undele sonore fac să vibreze moleculele mediului în care se propagă. Am văzut cum arată figurile obținute de Kundt și Chladni. Aceeași proprietate o au și ultrasunetele. La frecvențe mici s-a reușit să se demonstreze acest fapt cu ajutorul unui praf fin; la frecvențe înalte, s-au ivit dificultăți, deoarece chiar și firele de praf cele mai fine erau mult prea mari pentru ca să poată fi aduse în stare de vibrație de către ultrasunete. Particulele foarte fine necesare acestui scop se pot obține dizolvînd în alcool puțin mastic [1]). În alcool masticul se divide sub forma unor particule rotunde foarte mici, cu diametrul mult mai mic de 1 mm. Vom examina cu ajutorul microscopului o picătură din această solutie în timp ce o vom iradia cu ultrasunete; datorită acțiunii ultrasunetelor, în loc de particule fine vom vedea niște linii, fapt care demonstrează că particulele de mastic au intrat în vibrație.

---

[1]) Răsină naturală, moale, extrasă prin incizinea cojii arborelui Pistacia Leutiscus. Este folosită în fotografie, zincografie și la fabricarea unor chituri speciale. (N. trad.)

Scanned with OKEN Scanner

Experiențele efectuate pentru măsurarea presiunii cauzate de ultrasunete sînt deosebit de interesante. Sub acțiunea unei astfel de presiuni puternice, în interiorul lichidului se formează niște bule de aer, datorită fenomenului de cavitație. Cînd aceste bule de aer dispar din cauza presiunii atmosferice exterioare, se eliberează o cantitate foarte mare de energie. După calculele unor savanți, într-un asemenea caz, în locul respectiv, presiunea se ridică pînă la 10 000 at. Să ne gîndim la ce efecte ar putea avea această ridicare de presiune dacă ar fi utilizată în practică.

Trebuie să precizăm că unele substanțe, de exemplu glicerina devin luminoase sub acțiunea ultrasunetelor. Din cercetările efectuate, a rezultat că acest fenomen nu se produce decît în cazul lichidelor răcite, fenomenul încetînd deasupra temperaturii de 40°C.

In ultimul timp se utilizează din ce în ce mai des proprietatea ultrasunetelor de a fi refractate de lentile, prizme, sau oglinzi, construite din anumite materiale, la fel ca niște radiații luminoase. Bazat pe această proprietate, savantul sovietic Rozenberg a întreprins o serie de cercetări, care au fost încununate de succes, asupra posibilităților de producere a fasciculelor de ultrasunete puternice, necesare în industrie. Astfel de fascicule de ultrasunete, după cum am mai spus, se pot realiza cu ajutorul lentilelor și al oglinzilor concave; această rezolvare nu este însă simplă pentru practică, deoarece avem nevoie de o sursă de ultrasunete de dimensiuni foarte mici care, date fiind dimensiunile, nu poate produce ultrasunete de o intensitate suficient de mare.

Din cauza aceasta s-a pornit pe un alt drum. Procedeul diferă esențial de cele folosite în optică. Cu ajutorul a numeroase plăci de cuarț se realizează o oglindă concavă. Utrasunetele rezultate din vibrația acestora ies perependicular pe suprafața plăcilor de

Scanned with OKEN Scanner

Experiențele efectuate pentru măsurarea presiunii cauzate de ultrasunete sînt deosebit de interesante. Sub acțiunea unei astfel de presiuni puternice, în interiorul lichidului se formează niște bule de aer, datorită fenomenului de cavitație. Cînd aceste bule de aer dispar din cauza presiunii atmosferice exterioare, se eliberează o cantitate foarte mare de energie. După calculele unor savanți, într-un asemenea caz, în locul respectiv, presiunea se ridică pînă la 10 000 at. Să ne gîndim la ce efecte ar putea avea această ridicare de presiune dacă ar fi utilizată în practică.

Trebuie să precizăm că unele substanțe, de exemplu glicerina devin luminoase sub acțiunea ultrasunetelor. Din cercetările efectuate, a rezultat că acest fenomen nu se produce decît în cazul lichidelor răcite, fenomenul încetînd deasupra temperaturii de 40°C.

În ultimul timp se utilizează din ce în ce mai des proprietatea ultrasunetelor de a fi refractate de lentile, prizme, sau oglinzi, construite din anumite materiale, la fel ca niște radiații luminoase. Bazat pe această proprietate, savantul sovietic Rozenberg a întreprins o serie de cercetări, care au fost încununate de succes, asupra posibilităților de producere a fasciculelor de ultrasunete puternice, necesare în industrie. Astfel de fascicule de ultrasunete, după cum am mai spus, se pot realiza cu ajutorul lentilelor și al oglinzilor concave; această rezolvare nu este însă simplă pentru practică, deoarece avem nevoie de o sursă de ultrasunete de dimensiuni foarte mici care, date fiind dimensiunile, nu poate produce ultrasunete de o intensitate suficient de mare.

Din cauza aceasta s-a pornit pe un alt drum. Procedeul diferă esențial de cele folosite în optică. Cu ajutorul a numeroase plăci de cuarț se realizează o oglindă concavă. Ultrasunetele rezultate din vibrația acestora ies perependicular pe suprafața plăcilor de

Scanned with OKEN Scanner

cuarț concentrîndu-se în centrul oglinzii concave, unde se obține o putere mărită de 100 ori.

Experiențele lui Rozenberg, înafară de faptul că prezintă importanță din punctul de vedere al utilizării ultrasunetelor, sînt și foarte interesante. Dacă se așază un vas plin cu ulei în centrul unei astfel de oglinzi, uleiul este aruncat la o înălțime de 50—60 cm, formînd niște fîntîni arteziene în miniatură.

11. ULTRASUNETELE ÎN OPTICĂ

Unul dintre cele mai interesante capitole din studiul ultrasunetelor este acela în care se stabilesc proprietățile ultrasunetelor pe baza proprietăților radiațiilor luminoase. Aici nu este vorba deci numai de o muncă de cercetare, ci este necesară și o atentă observare a fenomenelor întîlnite în practică. De asemenea, cunoașterea proprietăților ultrasunetelor și a legilor lor este de o mare importanță la examinarea fenomenelor luminoase.

Am mai vorbit despre rețelele optice. Ele au un rol important în optică. Cu ajutorul acestor rețele se poate determina lungimea de undă a luminii. Construirea acestor rețele este destul de dificilă. Putem obține o rețea optică zgîriind pe o bucată de sticlă, cu ajutorul unui diamant, linii paralele dese. În locul zgîrieturii, sticla își pierde transparența, rămînînd transparentă numai între zgîrieturi. Pentru construirea acestor rețele, se folosesc mașini foarte precise. Cu ajutorul mașinii Jedlik se poate realiza 2093 zgîrieturi pe mm. Pentru cercetările noastre avem însă nevoie de rețele chiar mai dese decît aceasta. Folosirea ultrasunetelor nu numai că ne dă posibilitatea să ne dispensăm de aceste rețele, dar rezultatele obținute întrec pe cele ce s-ar obține cu cele mai fine rețele posibile.

Scanned with OKEN Scanner

În anul 1932, mai mulți savanți, în mod cu totul independent unul de altul, au ajuns la concluzia că se pot realiza astfel de rețele cu ajutorul ultrasunetelor cu lungimi de undă mici. Să ne închipuim un corp în oscilație. În anumite locuri se produc comprimări, iar în altele destinderi. Desigur că în aceste locuri variază și densitatea și, deci, radiațiile luminoase incidente vor fi refractate la fel ca și în cazul unei rețele obișnuite.

Brillouin a realizat această rețea, cu ultrasunete, în modul următor: cu ajutorul unei lentile a concentrat radiațiile furnizate de o sursă de lumină pe o rețea. În spatele rețelii a așezat o altă lentilă, astfel încît rețeaua să fie așezată în focarul acestei lentile; această lentilă face fascicul de raze paralel. Acest fascicul de raze paralele trece prin-un mediu iradiat cu ultrasunete (poate fi lichid). După ieșirea din lichid, razele cad din nou pe o lentilă, în focarul căreia se obține imaginea oglinzii, dacă mediul lichid nu este străbătut de ultrasunete. Dacă prin lichid se propagă ultrasunete după o direcție perpendiculară pe direcția de propagare a radiției luminoase, atunci pe lîngă imaginea obținută anterior, se vor observa pe ecran diferite culori, în cazul luminii albe, iar în cazul luminii roșii sau albastre, se vor observa diferite nuanțe. Numărul și intensitatea luminoasă a acestora depinde de lungimea de undă a ultrasunetelor utilizate. Dacă frecvența ultrasunetelor este mică, imaginele apar una lîngă alta și șterse. Dacă se mărește însă frecvența, crește și distanța dintre aceste dungi.

Acest fenomen a fost studiat de către mulți savanți. În acest domeniu au obținut rezultate deosebit de interesante savanții indieni, Raman și Nagendra Natha. Ei au arătat că, în cazul undelor staționare, direcția razelor refractare se schimbă cu timpul. Poziția și intensitatea imaginilor depinde de spațiul în

Scanned with OKEN Scanner

care ultrasunetele și radiațiile luminoase se suprapun și de lungimea de undă a radiațiilor luminoase care trec prin cîmpul ultrasunetelor. Numărul refracțiilor și intensitatea lor depinde de temperatura plăcii

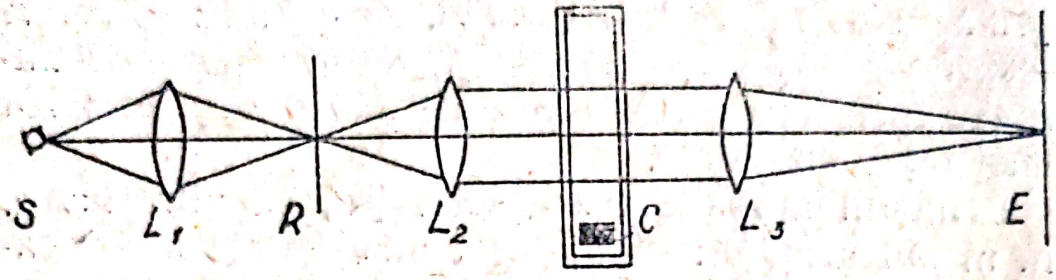


Fig. 15. Așezarea rețelei formate de ultrasunete.
L_1, L_2 și L_3 lentile corespunzătoare, E — ecranul, S — sursă de lumină, C — placă de cuarț.

de cuarț care radiază ultrasunetele. Deasupra temperaturii de 535°C, aceste imagini dispar cu totul.

S. A. Sokolov a stabilit cele mai exacte relații asupra dependenței de temperatură. Conform acestora, intensitatea imaginilor crește în jurul temperaturii de 200°C; la 490°C imaginile devin neclare, iar, după cum am amintit, la 535°C dispar. Cu ajutorul rețelelor ultrasonice s-a putut studia nu numai refracția luminii ci și propagarea ultrasunetelor în diferite medii. Așadar, cunoscîndu-se frecvența se poate calcula lungimea de undă pornind de la refracția luminii. Viteza de propagare o putem determina înmulțind frecvența cu lungimea de undă. S-a determinat deci viteza de propagare și, prin aceasta, s-a dovedit că în cuarț se propagă, în același timp, unde logitudinale și unde transversale cu viteze diferite.

Experiențele s-au executat cu diferite lichide: alcool, glicerină, terebentină și apă. Mai avem de amintit încă un singur lucru și cu aceatsa vom încheia observațiile în legătură cu studierea ultrasunetelor. Dacă vom produce ultrasunete care să se propage după trei direcții perpendiculare între ele, cu

Scanned with OKEN Scanner

ajutorul a trei plăci de cuarț care oscilează pe aceeași frecvență, în mediul înconjurător se vor produce comprimări și destinderi, nu numai la suprafață, ci și în profunziune. Aceasta echivalează cu o rețea la care ar fi așezate unele lîngă altele niște mici pătrățele a căror vîrfuri ar fi centre de lumină. Astfel de rețele se pot realiza și în medii solide, transparente, cum ar fi cuarțul. Acest fapt prezintă o mare importanță nu numai pentru cercetările teoretice dar chiar și pentru tehnică.

12. EXAMINAREA MATERIALELOR CU AJUTORUL ULTRASUNETELOR

Rezultatele experiențelor efectuate în laboratoare cu ajutorul ultrasunetelor confirmă că ultrasunetele pot fi folosite cu succes pentru determinarea proprietăților materialelor. Prin urmare, cu ajutorul ultrasunetelor nu numai că se pot schimba proprietățile materialelor, dar se poate cerceta și structura lor. Un material parcurs de ultrasunete își schimbă proprietățile. Din aceste schimbări se pot trage anumite concluzii asupra structurii materialului respectiv. Rezultatele experiențelor făcute de oamenii de știință sovietici au dovedit că, în practică, se pot examina metale de o grosime de 1—2 m.

Acest fapt a dus la dezvoltarea unei noi ramuri a tehnicii defectoscopice, care utilizează metode de cercetare științifice și constituie o ramură ajutătoare foarte importantă pentru industria grea. Defectoscopia cercetează defectele interne ale metalelor cu ajutorul ultrasunetelor. Defectoscopia s-a născut și a progresat cel mai mult în Uniunea Sovietică. S. A. Sokolov a pus bazele defectoscopiei; el a început cercetările experimentale în anul 1927, obținînd în scurt timp succese care au fost recunoscute de

Scanned with OKEN Scanner

lumea întreagă. Încă din acest an, Sokolov a arătat că și cele mai mici defecte interne ale pieselor metalice pot fi detectate cu ajutorul ultrasunetelor. Primul defectoscop a fost construit în anul 1928; defectoscoapele moderne nu se deosebesc mult de acest prim defectoscop.

În prima sa comunicare, Sokolov a arătat, pe baza experiențelor făcute, că materialele care prezintă crăpături, conduc cu mult mai slab ultrasunetele decît acelea care nu au defecte. În această comunicare, el descrie și principiul primului său defectoscop realizat în practică. Principiul de funcționare al defectoscopului este următorul: Piesa de cercetat se lustruiește foarte bine. Pe această piesă se fixează o placă de cuarț, introducîndu-se între suprafețe o picătură de ulei. Cuarțul în vibrație va iradia piesa cu ultrasunete. Pe fața opusă a piesei de examinat (la fel ca în cazul plăcii de cuarț), se așează un vas umplut cu lichid. Ultrasunetele care trec prin acest lichid se examinează cu ajutorul unor radiații luminoase care străbat lichidul pe o direcție perpendiculară pe aceea a ultrasunetelor; deviația acestor radiații luminoase se stabilește prin procedeul descris mai înainte. În acest fel, Sokolov a reușit să examineze piese metalice cu o grosime de 2 m. După cum se vede, la aceste măsurări, materialul de examinat se „luminează" cu ajutorul ultrasunetelor, iar apoi undele care au trecut prin materialul respectiv sînt studiate cu ajutorul radiațiilor luminoase. Sokolov întrebuințează această metodă și în cercetările sale ulterioare.

Acest procedeu, după cum este descris mai sus, pare foarte simplu; totuși, aplicarea lui în practică este destul de dificilă. Greutățile au apărut în special atunci cînd au trebuit să se execute primele examinări de serie. În primul rînd, lungimea de undă a ultrasunetelor în metale trebuie să fie mai mică decît lungimea defectului în interiorul metalelor de cerce-

lumea întreagă. Încă din acest an, Sokolov a arătat că și cele mai mici defecte interne ale pieselor metalice pot fi detectate cu ajutorul ultrasunetelor. Primul defectoscop a fost construit în anul 1928; defectoscoapele moderne nu se deosebesc mult de acest prim defectoscop.

În prima sa comunicare, Sokolov a arătat, pe baza experiențelor făcute, că materialele care prezintă crăpături, conduc cu mult mai slab ultrasunetele decît acelea care nu au defecte. În această comunicare, el descrie și principiul primului său defectoscop realizat în practică. Principiul de funcționare al defectoscopului este următorul: Piesa de cercetat se lustruiește foarte bine. Pe această piesă se fixează o placă de cuarț, introducîndu-se între suprafețe o picătură de ulei. Cuarțul în vibrație va iradia piesa cu ultrasunete. Pe fața opusă a piesei de examinat (la fel ca în cazul plăcii de cuarț), se așează un vas umplut cu lichid. Ultrasunetele care trec prin acest lichid se examinează cu ajutorul unor radiații luminoase care străbat lichidul pe o direcție perpendiculară pe aceea a ultrasunetelor; deviația acestor radiații luminoase se stabilește prin procedeul descris mai înainte. În acest fel, Sokolov a reușit să examineze piese metalice cu o grosime de 2 m. După cum se vede, la aceste măsurări, materialul de examinat se „luminează" cu ajutorul ultrasunetelor, iar apoi undele care au trecut prin materialul respectiv sînt studiate cu ajutorul radiațiilor luminoase. Sokolov întrebuințează această metodă și în cercetările sale ulterioare.

Acest procedeu, după cum este descris mai sus, pare foarte simplu; totuși, aplicarea lui în practică este destul de dificilă. Greutățile au apărut în special atunci cînd au trebuit să se execute primele examinări de serie. În primul rînd, lungimea de undă a ultrasunetelor în metale trebuie să fie mai mică decît lungimea defectului în interiorul metalelor de cerce-

Scanned with OKEN Scanner

tat. Apoi, presiunile pe cari le realizează atit ultrasunetele care intră în materialul examinat, cît și cele care ies, trebuie măsurate cît mai precis posibil.

In anul 1934, Sokolov a stabilit un procedeu cu mult mai precis și mai rapid decît cel descris mai sus.

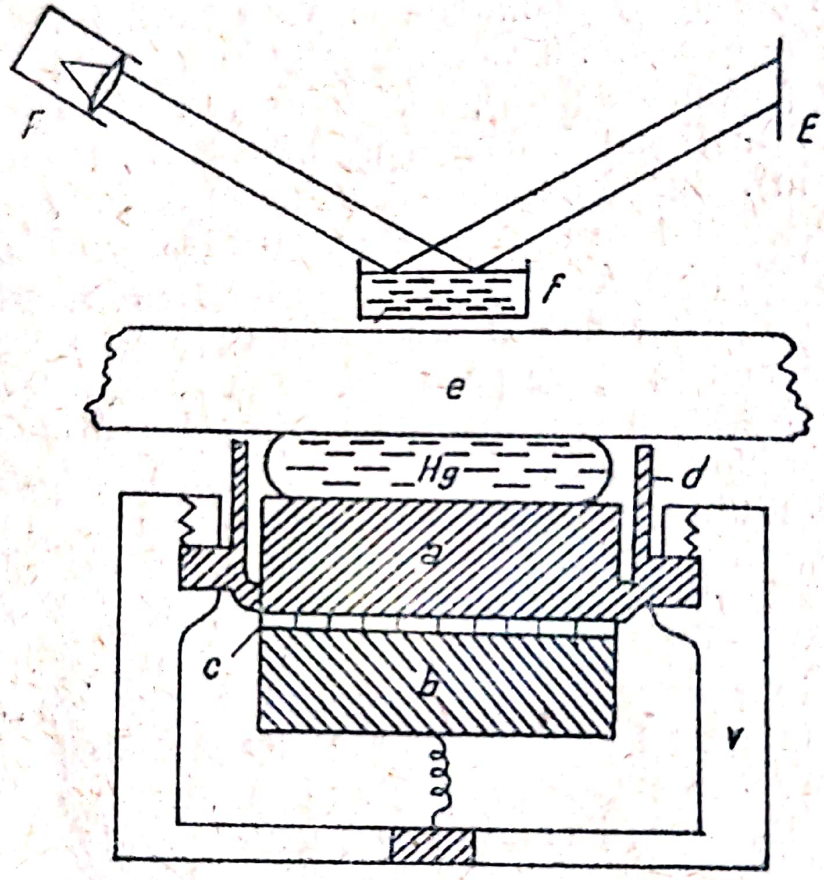


Fig. 16. Schema primei instalații pentru examinat piesele de metal cu ajutorul ultrasunetelor (defectoscop) realizat de S. A. Sokolov

Sokolov stabilea defectele piesei studiate, observînd schimbarea culorii și formei unei fețe luminoase sub acțiunea ultrasunetelor care au parcurs piesa studiată. In fig. 16 este reprezentată (in secțiune) instalația cu care a lucrat Sokolov. Placa de cuarț (sau mai degrabă mozaicul) *C* este fixată între două plăci metalice *a* și *b*. Placa superioară *a* este în ace-

Scanned with OKEN Scanner

lași timp și capacul unui vas *V*. Placa de cuarț este pusă în vibrație cu ajutorul curentului furnizat de un tub electronic. Fața superioară a plăcii este acoperită cu un strat subțire de mercur (acesta conduce foarte bine ultrasunetele). Mercurul este împiedicat să se împrăștie de către un prag circular. Deasupra se găsește piesa examinată *e*, pe a cărei față superioară se găsește un vas mic *f*; între piesă și vas se află o picătură de ulei, iar în interiorul vasului se găsește ulei sau benzol (nivelul acestuia este de 4—7 cm). Sursa de lumină *F* se așază în așa fel, încît fasciculul de raze paralele (realizat cu ajutorul unui sistem de lentile) să fie reflectat pe suprafața lichidului pe ecranul *E*. După forma și culoarea petei luminoase care apare pe ecran, se pot trage anumite concluzii asupra structurii interne a piesei examinate. Pata de lumină a cărei culoare și formă variază sub acțiunea ultrasunetelor, a fost numită de către Sokolov „sonogramă". Dacă se examinează piese mari, sau dacă se fac examinări în serie, se pot obține aceleași rezultate prin procedee mai simple. În acest caz, placa de cuarț care radiază ultrasunetele, se așază în așa fel încît să radieze undele numai în sus. Piesa care se examinează se afundă cîțiva centimetri în lichid. Asupra locului în care ultrasunetele pătrund în lichid, se proiectează oblic radiații luminoase. Radiațiile luminoase se reflectă de pe suprafața lichidului pe ecran. Prin acest procedeu, defectele pot fi determinate mult mai rapid decît prin procedeul anterior. Desigur că nu se examinează numai o singură porțiune a piesei respective, ci întreaga piesă.

Astăzi însă, instalațiile descrise mai sus nu se mai întrebuințează. Dezvoltarea din ce în ce mai rapidă a industriei a făcut să fie necesare defectoscoape mai perfecționate. Astfel în anul 1953 a fost construită o nouă instalație pe care Sokolov a numit-o reflectoscop.

Scanned with OKEN Scanner

Înainte de a expune principiul de funcționare al acestei instalații, vom arăta greutățile pe care au trebuit să le învingă constructorii acestei instalații.

După cum am arătat, proprietatea metalelor de a conduce ultrasunetele depinde de așezarea moleculelor lor și de greutatea atomică. Prima dificultate a fost legată de utilizarea în practică a rezultatelor obținute. A doua dificultate era legată de faptul că în interiorul metalelor nu se propagă numai unde longitudinale, ci și unde transversale și unde de suprafață. Această din urmă problemă a fost soluționată prin radierea undelor perpendiculare pe suprafețe. La o astfel de radiere, undele transversale și cele de suprafață au intensitate minimă. S-a reușit să se facă astfel încît undele transversale să fie reflectate total pe suprafețele metalelor, iar undele longitudinale să treacă prin metal. Întîlnind suprafața unui obiect de metal, ultrasunetele se reflectă în toate direcțiile; acțiunea suprafeței metalului este identică cu aceea a unui perete lovit de un sunet. La fel ca într-o sală unde vocea vorbitorului, din pricina reflexiilor multiple nu se mai aude clar (devine aproape de neînțeles); în cazul pieselor metalice, ultrasunetele, în special cînd e vorba de piese mici, nu pot fi măsurate cu ușurință. Influența supărătoare a pereților netezi ai sălilor se poate micșora cu ajutorul unor statui sau coloane, așezate de jur împrejur; există însă oare vreo metodă pentru micșorarea efectului supărător care apare în cazul pieselor de metal iradiate cu ultrasunete? Pentru a putea elimina acest efect, iradierea pieselor cu ultrasunete nu se face continuu, ci intermitent (impulsuri de durată foarte scurtă).

Pentru examinarea metalelor, după cum am văzut, se utilizează plăci de cuarț în vibrație. Cu ajutorul acestor plăci, obiectul de metal este iradiat, nu numai dintr-o singură parte, ci chiar din mai multe părți.

Scanned with OKEN Scanner

Este de dorît să se aşeze cuarţul în ulei, deoarece faţa metalului care este în contact cu aerul, după cum se ştie, reflectată în mare măsură ultrasunetele.

Metodele care întrebuinţează o iradiere intermitentă (impulsuri ultrasonice) sînt cu mult mai perfecte decît cele care folosesc iradierea continuă a piesei. Aceste metode au o însemnătate deosebită la examinarea pieselor mari care nu pot fi studiate cu ajutorul radiaţiilor Roentgen. O astfel de instalaţie este şi reflectoscopul lui Sokolov, construit în anul 1935. La această dată se puteau produce impulsuri de ultrasunete cu o durată de ordinul sutimii de secundă. După aceea s-a reuşit să se realizeze impulsuri cu o durată mult mai mică. În anul 1941, folosind metodele radiolocaţiei, s-a reuşit să se obţină impulsuri de ultrasunete cu o durată de o miime de secundă; folosind asemenea impulsuri, s-a reuşit să se descopere, cu ajutorul reflectoscopului, defecte de mărimea unui milimetru situate la o adîncime mare în interiorul piesei.

Principiul pe care se bazează instalaţia este următorul:

O placă de cuarţ radiază ultrasunete de o frecvenţă mare sub forma de impulsuri, cu o durată foarte mică. În interiorul obiectului de metal, ultrasunetele se reflectă cînd întîlnesc chiar şi cele mai mici defecte, ajungînd apoi în locul din care au pornit. Datorită efectului piezoelectric, sub influenţa presiunii ultrasunetului, pe suprafaţa plăcii apare o sarcină electrică. Sarcina va varia, la fel, cu presiunea ultrasunetelor şi deci tot aşa va varia şi tensiunea obţinută.

Variaţia de tensiune este amplificată apoi şi este aplicată la plăcile unui oscilograf catodic, pe al cărui ecran se vor observa impulsuri sub forma de dinţi de fierăstrău.

Scanned with OKEN Scanner

Cele două procedee expuse diferă complet unul de altul. În cazul primului procedeu se examinează radiaţile care au străbătut în întregime piesa, pe cînd în cazul celui de al doilea se examinează radiaţiile reflectate. În cazul din urmă, pentru recepţie se

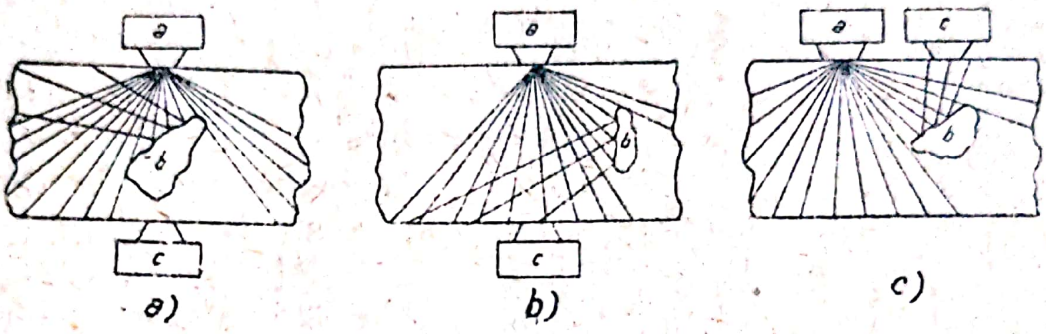


Fig. 17. Aşezarea capului de emisie şi a celui de recepţie pentru examinarea pieselor cu ajutorul ultrasunetelor

a — examinarea piesei cu ajutorul undelor care trec prin ea ; *b* — examinarea piesei cu ajutorul undelor reflectate pe partea capului de emisie opusă ; *c* — examinarea pieselor cu ajutorul undelor reflectate pe partea capului de emisie

poate folosi o instalaţie specială sau chiar instalaţia de emisie. Adîncimea la care se găseşte defectul se stabileşte după locul în care apar impulsuri pe ecranul osciloscopului. Poziţia exactă a defectului se calculează după timpul de propagare a undei, pe cînd mărimea defectului este dată de înălţimea impulsului pe ecran.

În fig. 17 se arată trei moduri de studiere a pieselor. În cazul întîi (fig. 17, *a*), capul de emisie *a* radiază ultrasunete în interiorul materialului, iar la locul defectului *b*, radiaţiile sînt reflectate, putînd trece mai departe numai cele laterale; receptorul *c*, aşezat de partea cealaltă a piesei arată dacă piesa este sau nu străbătută de unde în locul respectiv, dîndu-ne date aproximative asupra locului şi mărimii defectului. Fig. 17, *b*, corespunde cazului în care descoperirea defectului se face cu ajutorul undelor reflectate care ies prin partea opusă. În fig. 17, *c* se

Scanned with OKEN Scanner

vede cum se face măsurarea cu ajutorul unui reflectoscop modern. Capul de emisie *a*, poate fi în același timp și cap de recepție. Receptorul *c*, indică poziția defectului pe baza radiațiilor reflectate. În cazul acestui procedeu se pot folosi impulsuri de ultrasunete cu o durată foarte mică. Înafară de acestea, mai sînt posibile și alte soluții ale problemei (de exemplu se pot examina defectele interne ale pieselor cu ajutorul undelor staționare).

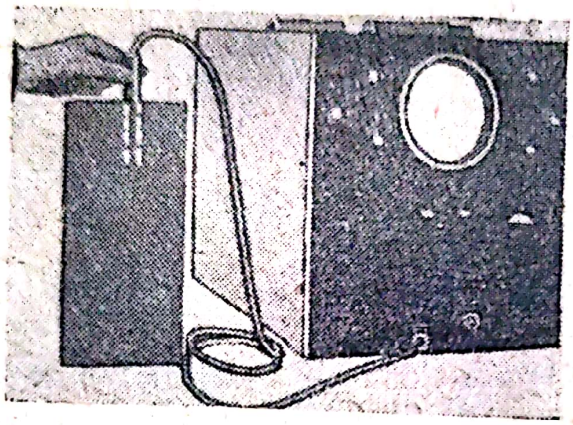


Fig. 18, Instalație pentru stabilirea defectelor pieselor (defectoscop), realizată de S. A. Soko.ov

Defectoscopul construit în anul 1941 poate indica și variația densității unei anumite piese. Cu cît vor fi mai multe defecte în drumul undelor (la diferite adîncimi), cu atît vor apărea mai multe pe ecranul oscilografului. Pentru mărirea preciziei măsurării, este recomandabil să se aranjeze aparatul în așa fel, încît să se poată observa reflecția multiplă a ultrasunetelor din același loc și prin aceasta, aceeași măsurare să se poată controla în mai multe feluri.

În fig. 18 se poate vedea un defectoscop modern în funcțiune. Acest defectoscop are un singur cap pentru examinare, care servește în același timp și pentru emisie și pentru recepție. Pe piesa metalică din partea stîngă a figurii se poate observa capul de examinare. Impulsurile apărute pe ecran arată adîncimea la care se găsec defectele piesie. După forma undelor și după valoarea lor, se pot stabili dimensiunile exacte ale defectelor interne. Cu ajutorul unor impulsuri de ultrasunete corespunzătoare se pot examina

Scanned with OKEN Scanner

piese cu o grosime de 1—2 m, putînd-se determina totdeodată și dimensiunile defectelor întîlnite.

Cu ajutorul defectoscopului se poate determina precis adîncimea de prelucrare a pieselor de oțel. Dacă vrem să măsurăm grosimea stratului de prelucrat, vom îndrepta fasciculul de ultrasunete aproape paralel cu suprafața piesei cercetate. Dacă unghiul este suficient de mic, ultrasunetele se reflectă la limita dintre stratul prelucrat și cel neprelucrat; undele reflectate fac să apară un impuls pe ecranul oscilografului, care impuls servește la calcularea adîncimii de prelucrare. Cu ajutorul acestui procedeu, nu numai că se poate determina cu mare precizie adîncimea stratului prelucrat, dar se poate determina chiar și calitatea prelucrării. Aceasta se realizează prin compararea reflecțiilor obținute din diferite locuri. În acest caz, atît capul de emisie cît și cel de recepție se construiesc înclinate, astfel încît fasciculul de radiații trimise spre metal să aibe o secțiune mai mică. Deși diferența dintre vitezele de propagare în straturile prelucrate și cele neprelucrate reprezintă abia 1% din valoarea vitezelor, măsurările executate au dat rezultate suficient de precise.

Defectoscopul cu ultrasunete mai are încă o foarte importantă aplicare: determinarea dimensiunilor unor anumite produse industriale. Procedeul este următorul: se radiază înspre obiect impulsuri de ultrasunete cu durată foarte scurtă. Ultrasunetele se reflectă de suprafața obiectului. Impulsul reflectat va apare pe ecranul oscilografului. Cu ajutorul acestui procedeu se poate determina cu o precizie de 1% grosimea obiectului respectiv. Această metodă de măsurare are avantajul de a fi foarte simplă și ușoară. Capul care radiază sunetele trebuie să fie așezat deasupra obiectului a cărui grosime vrem să o calculăm. În acele cazuri în care nu se poate apropia capul de emisie de suprafața obiectului (și deci obiectul nu se poate

Scanned with OKEN Scanner

cerceta prin mijloacele obișnuite), acest procedeu este foarte avantajos.

13. MICROSCOPUL CU ULTRASUNETE

Defectoscopul și reflectoscopul sînt astăzi aparate ajutătoare, necesare la studierea pieselor. Dar tehnica prezintă cerințe din ce în ce mai mari în ceea ce privește examinarea pieselor, cerințe care pot fi satisfăcute numai prin noi invenții și descoperiri. Încă de la primele cercetări s-a pus problema măririi defectelor cercetate. Astfel s-a născut ideea construirii unui microscop ultrasonic. Deoarece toate materialele sînt transparente pentru ultrasunete, microscopul ultrasonic reprezintă o foarte importantă aplicație a ultrasunetelor. Dacă microscopul cu ultrasunete va putea funcționa cu ultrasunete de lungimi de undă foarte mici va deveni nu numai un instrument de undă și comod pentru cercetarea materialelor, ci va putea fi folosit și în cercetările științifice.

Microscopul optic obișnuit este cunoscut de mai bine de 300 de ani. El servește la mărirea imaginilor obiectelor mici. Principiul lui de funcționare este foarte simplu. Cu ajutorul unei lentile el mărește obiectul așezat în fața lui; imaginea obținută este mărită apoi din nou cu ajutorul unei alte lentile. După numeroase perfecționări (aduse în decursul a cîtorva secole), s-a reușit ca astăzi microscopul optic să poată mări de aproximativ 2 000 de ori. Aceasta constituie limita de mărire a microscopului optic. În ultimele decenii, savanții au emis teoria că nu se vor putea realiza măriri mai mari. O mărire de 2 000 de ori nu este ușor de realizat (în locul unei imagini de un centimetru se obține una de 20 m). Totuși cu ajutorul acestui microscop nu se pot studia moleculele sau atomii.

Scanned with OKEN Scanner

În anul 1932, s-a inventat un nou tip de microscop. În acesta, în locul radiațiilor luminoase se folosesc fasciculele electronice, și deci direcția acestora nu se schimbă cu ajutorul lentilelor de sticlă ci cu ajutorul cîmpului magnetic sau electric. Cu ajutorul acestui microscop s-au putut realiza măriri de 100 000 de ori, arătîndu-se prin aceasta netemeinicia teoriei relative la limita de mărire a imaginilor. Acesta este așa numitul microscop electronic, cu ajutorul căruia se pot studia și moleculele. Microscopul electronic constituie dovada faptului că fenomenele electronice simple pot avea diferite utilizări.

Principiul său de funcționare este asemănător cu al microscopului optic. În cazul microscopului electronic, imaginea se obține pe un ecran bombardat de către electronii care alcătuiesc fasciculele. La microscopul optic, prima lentilă (obiectivul) dă o imagine care este mărită, la rîndul ei, de o a doua lentilă (ocularul). În microscopul electronic, prin urmare, radiațiile luminoase sînt înlocuite prin fascicule electronice, iar lentilele prin cîmpuri magnetice sau elastice. Piesele care înlocuiesc lentilele, în microscopul electronic, se numesc lentile electrice sau magnetice, în funcție de modul în care acționează (prin cîmp electric sau prin cîmp magnetic).

Microscopul cu ultrasunete a fost inventat mai tîrziu chiar și decît microscopul electronic. Deși principiul său de bază este cunoscut de mult (S. A. Sokolov l-a făcut cunoscut încă din anul 1936), totuși, primele microscoape de ultrasunete s-au construit abia în ultimii ani. În microscoapele cu ultrasunete se utilizează efectul piezoelectric al cristalelor de cuarț; la fel ca și la microscopul electronic și aci fasciculele de radiații joacă un rol foarte însemnat.

Să așezăm într-un vas cu ulei deasupra obiectului de cercetat, o placă de cuarț tăiată după cum s-a arătat mai sus. Să facem ca această placă de cuarț să

Scanned with OKEN Scanner

vibreze cu o frecvență mare cu ajutorul curentului furnizat de un tub electronic. Ca și în cazul defectoscopului, ultrasunetele generate pe placa de cuarț vor fi radiate înspre obiectul de cercetat și vor fi reflectate de suprafața acestuia. Dacă se reușește să se grupeze cu ajutorul unei lentile ultrasunetele reflectate, cît și cele care traversează obiectul (la fel ca în cazul radiațiilor luminoase), și astfel să se realizeze o imagine mărită a obiectului, putem spune că am realizat microscopul ultrasonic. Aici însă, în fața cercetătorului se ridică dificultăți foarte mari. Încă din anul 1930, s-au construit lentile și oglinzi care se comportă față de ultrasunete la fel ca și lentilele și oglinzile obișnuite față de radiațiile luminoase. Cu aceste așa numite lentile pentru utrasunete se poate realiza în focare o densitate de energie foarte mare. Imagina amplificată dată de fascicul, nu reușim să o prindem însă cu o lentilă asemănătoare și chiar dacă am realiza aceasta, microscopul cu ultrasunete nu ar prezenta avantaje față de microscopul optic. In această situație in mod firesc s-a născut ideea care a fost utilizată de nenumărate ori în instalațiile pentru examinarea pieselor: fasciculul de ultrasunete trebuie să excite o lentilă construită dintr-un cristal de cuarț. Știm că datorită vibrației plăcii de cuarț putem obține oscilații electrice. Ne întrebăm acum: există oare vre-un procedeu cu care să putem realiza observarea oscilațiilor electrice?

Și aici, la fel ca și în cazul defectoscopului, Sokolov utilizează efectul piezoelectric reciproc. Sub acțiunea vibrațiilor, la bornele monturii cristalului apare o tensiune electrică. Deoarece această tensiune dispare repede, placa de cuarț trebuie tăiată în așa fel, incît să apară o sarcină electrică cît mai mare. Sokolov a făcut încercări cu un mozaic format din mai multe cristale de cuarț; cu ajutorul acestui mozaic el a reușit să gradeze efectul piezoelectric. Oscilațiile

Scanned with OKEN Scanner

electrice se pot studia cu ajutorul oscilografului, dar pentru o rezolvare completă a problemei mai lipsește încă ceva. În principiu, drumul care conduce spre această rezolvare este următorul: se face să vibreze placa emițătoare. Undele reflectate de obiect și cele care au străbătut obiectul sînt concentrate cu ajutorul unui sistem de lentile, pe placa receptoare. Presiunea rezultată fiind diferită în diversele puncte ale suprafeții și tensiunea electrică rezultată va diferi de la punct la punct. Valoarea tensiunii în anumite puncte depinde și de cantitatea de energie care ajunge în acel punct. Aceasta înseamnă că s-a realizat o fotografie electrică a obiectului cu ajutorul ultrasunetelor.

Acum trebuie să se analizeze oscilațiile electrice obținute. Analizarea se face prin metode folosite în televiziune. Pentru aceasta este necesar să se realizeze următoarele operații:

1) Trebuie să se facă explorarea întregii suprafețe a plăcii receptoare cu ajutorul unui fascicul electronic; 2) curentul rezultat trebuie amplificat; 3) acest curent trebuie ca să comande fasciculul electronic al unui tub catodic (receptor). Dacă fasciculul electronic al tubului se mișcă sincron cu fasciculul electronic care explorează suprafața receptoare, pe ecranul tubului catodic apare imaginea obiectului studiat.

Pentru a înțelege construcția și modul de funcționare a instalației, să vedem cum sînt construite aparatele de televiziune. Cei care vor să studieze mai în amănunt această problemă pot să citească diverse lucrări de specialitate. [1])

---

[1]) *Ignatiev*, Introducere în televiziune, traducere din limba rusă. *Klopov*, Bazele televiziunii, traducere din limba rusă. Lucrări litografiate pentru documentare de Editura Energetica de Stat, 1954. (N. trad.).

Scanned with OKEN Scanner

In instalațiile de televiziune, atît la emisie cît și la recepție se întrebuințează tuburi catodice. Anodul tubului emițător este constituit de un mozaic de celule fotoelectrice. Fiecare celulă fotoelectrică are un electrod izolat, iar celălalt este legat la un punct comun al întregului mozaic. Imaginea care trebuie transmisă este proiectată cu ajutorul unor lentile pe mozaicul format de celulele fotoelectrice. Catozii celulelor emit electroni, care încarcă aceste mici celule ca pe niște condensatoare. Descărcarea celulelor o realizează fasciculul electronic care explorează ecranul într-un ritm foarte rapid. Curentul propriu al fasciculului electronic crește prin descărcarea acestor celule. Prin aceasta se realizează transformarea imaginii într-o variație a curentului electric. Transformarea inversă se efectuiează cu ajutorul unui tub catodic asemănător. Este însă foarte important ca, pe de o parte, aceste variații ale curentului să fie amplificate, iar pe de altă parte este necesar ca fasciculul electronic al tubului receptor să se miște cu aceeași viteză și în fază cu fasciculul tubului emițător (cele două fascicule trebuie să se găsească în fiecare moment în poziții corespunzătoare). Tensiunea obținută se aplică pe grila de comandă a celui de al doilea tub catodic.

Același principiu stă la baza construcției și funcționării tubului catodic din microscopul ultrasonic.

Deoarece sarcinile electrice apar în acele puncte ale plăcilor de cuarț pe care se exercită o anumită presiune (întindere), distribuția sarcinilor electrice pe suprafața plăcii receptoare corespunde exact undei de ultrasunete care atinge placa de cuarț din focarul lentilei.

Unda incidentă este alcătuită din radiațiile reflectate și corespunde părților obiectului cercetat care au cauzat aceste reflexii. Pe ecranul tubului catodic

Scanned with OKEN Scanner

apare imaginea obiectului. Dacă aşezăm un alt obiect în faţa plăcii receptoare, desigur că pe ecranul tubului se va obţine o altă imagine.

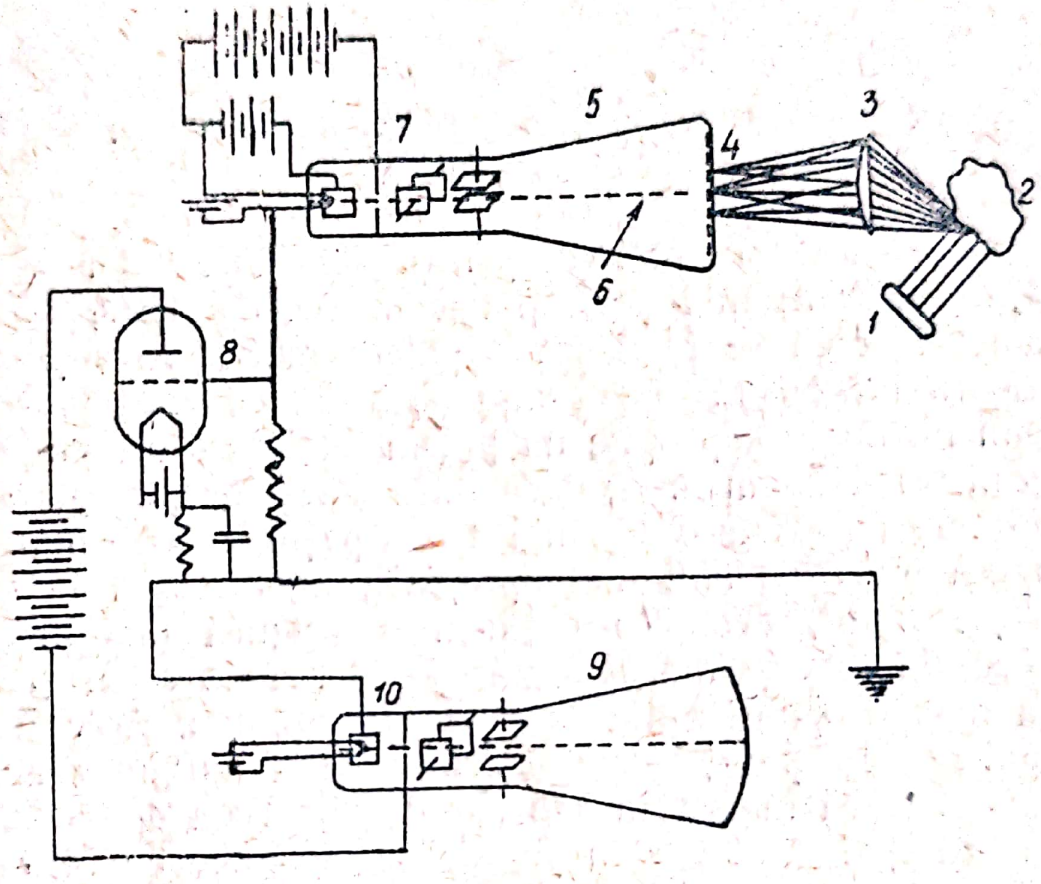


Fig. 19. Principiul de funcţionare a microscopului cu ultrasunete

In fig. 10 se poate vedea schema primului microscop cu ultrasunete al lui Sokolov. Un fascicul îngust de ultrasunete emis de placa de cuarţ *1* „luminează" obiectul de cercetat *2*. Fasciculele reflectate de acest obiect cad pe o lentilă pentru ultrasunete *3;* receptorul, aşezat în focar, este tot un mozaic *4*.

Placa receptoare este în acelaşi timp şi ecranul tubului catodic *5*. Un fascicul electronic îngust *6* cade pe placa receptoare şi din cauza sarcinilor produse aici, se produce o variaţie a curentului tubului catodic. Dacă cu ajutorul plăcilor de deviaţie facem ca fasciculul electronic să exploreze toate punctele plăcii receptoare, sarcinile se adaugă curentului tubului catodic şi curentul anodului 7 va deveni variabil. Variaţiile obţinute se aplică la grila tubului electronic *8* şi sînt amplificate. Tensiunea obţinută este aplicată pe electrodul de

Scanned with OKEN Scanner

comandă al tubului catodic *9* și intensitatea fasciculului electronic al acestui tub va varia corespunzător. Sincronizînd tuburile catodice *5* și *9*, vom obține pe ecranul tubului *9* imaginea corespunzătoare a sarcinilor electrice de pe placa receptoare 4.

14. PUTERE MĂRITOARE A MICROSCOPULUI ULTRASUNETE

Care este oare motivul pentru care nici chiar cu ajutorul celui mai perfecționat microscop optic, nu s-a reușit să se realizeze o putere mărițoare superioară lui 2 000? Experiența ne arată că dacă folosim un microscop optic nu putem deosebi două imagini oricît le-am mări, dacă între obiectele corespunzătoare nu există o distanță de cel puțin 0,00025 mm. Dacă obiectele sînt mai apropiate, microscopul mărește inutil, deoarece obținem o singură imagine. Aceasta se exprimă spunînd că puterea de separație a microscopului optic este de 0,00025 mm. Această putere de separație este determinată de lungimea de undă. Dacă micșorăm sau mărim lungimea de undă a radiației, (ceea ce în practică corespunde cu utilizarea unor radiații de diferite culori) puterea de separație a microscopului va crește sau va scădea (variație invers proporțională). În ultimii ani, S. A. Sokolov și colaboratorii săi, au folosit ultrasunete cu frecvența de 1 000 MHz și au atins chiar frecvențe de valori de zece ori mai mari. Pe baza rezultatelor obținute, putem spune că pe viitor aceste puteri de separație vor fi întrecute. La aceste frecvențe se poate stabili destul de exact lungimea de undă a ultrasunetelor. Rezultatul se poate obține cel mai comod dacă se consideră că viteza de propagare în aer este de 340 m/s; deoarece ultrasunetele sînt însă absorbite în mare măsură de aer, acest calcul nu ar da un rezultat corect. Pentru aceasta să pornim de

Scanned with OKEN Scanner

la viteza de propagare a ultrasunetelor în apă (1 500 m/s). Lungimea de undă corespunzătoare unei frecvențe de 3 000 MHz este:

$$150\,000\ \frac{\text{cm}}{\text{s}} : 3\,000\,000\,000\ \frac{1}{\text{s}} = 0{,}00005\ \text{cm}.$$

Lungimile de undă ale radiațiilor luminoase sînt cuprinse între 0,00008 cm și 0,00004 cm, adică sînt mai mici decît a zecea mia parte dintr-un centimetru sau decît a mia parte dintr-un milimetru. A mia parte dintr-un milimetru se numește micron; prin urmare, lungimea de undă a radiațiilor luminoase este cuprinsă între 0,8 și 0,4 microni. Lungimea de undă a radiațiilor roșii este cea mai mare, iar a radiațiilor violete este cea mai mică. Pe baza calculelor noastre, lungimea de undă calculată mai sus este comparabilă cu cea a radiațiilor violete și deci este mult mai mică decît lungimea de undă a radiațiilor roșii. Dacă utilizăm astfel de utrasunete, în microscopul cu ultrasunete, putem depăși puterea măritoare a microscopului optic (cu toate că nu ne-am servit de ultrasunetele cu frecvența cea mai mare). Pe cînd la microscopul obișnuit o imagine poate fi mărită de cel mult 2 000 ori, în cazul microscopului cu ultrasunete, această putere măritoare a fost cu mult depășită încă în primii ani după descoperirea lui.

Dacă se vor putea utiliza și undele capilare (amintite în Cap. 10), care se propagă aproximativ de 4,5 ori mai încet decît ultrasunetele cunoscute pînă acum, atunci, față de un microscop obișnuit, cu ajutorul unui astfel de microscop cu ultrasunete, vom putea realiza o putere măritoare nu numai de 10, ci chiar de 100 de ori mai mare.

Este adevărat că puterea măritoare a microscopului electronic întrece chiar și pe cea a microscopului

Scanned with OKEN Scanner

cu ultrasunete, dar domeniile de folosire ale celor două feluri de microscoape nu se suprapun. Microscopul cu ultrasunete este folosit pentru cercetarea obiectelor opace, pentru fotografierea interiorului metalelor și pentru mărirea imaginilor defectelor interne ale acestora.

15. MICROSCOAPE CU ULTRASUNETE DE DIFERITE TIPURI

În laboratoarele sovietice se fac experimentări cu mai multe tipuri de microscoape ultrasonice. Aceste aparate au fost proiectate de către S. A. Sokolov. Printre ele se numără unele care au un singur tub catodic, după cum există altele a căror funcționare se aseamănă cu aceea a instalațiilor de televiziune. Cele mai multe sînt încă în stadiul de experimentare, dar este posibil ca o mare parte dintre ele să intre în fabricație în curînd, mărind astfel numărul microscoapelor cu ultrasunete folosite în industrie. În cele ce urmează, vom prezenta două dintre tipurile de microscoape cu ultrasunete care se experimentează acum.

Unul dintre acestea (v. fig. 21), se aseamănă cu un microscop electronic; structura sa diferă însă esențial de a acestuia. Acest microscop cu ultrasunete are lentile electrice și magnetice și un singur tub catodic, dar utilizează în funcționarea lui și efectul fotoelectric.

Efectul fotoelectric constă în aceea că unele metale, ca de exemplu potasiul și sodiul, sub influența luminii emit electroni. De aceasta ne putem convinge în modul cel mai simplu, proiectînd radiații luminoase intense asupra unei plăci de zinc încărcate cu sarcini electrice negative. Vom observa că placa de zinc se descarcă. Experiența următoare este mai convingătoare: într-un balon de sticlă cu vid fixăm în interior un

Scanned with OKEN Scanner

catod C cu o suprafață mare, acoperită cu un amestec conținînd potasiu sau sodiu, în fața căruia așezăm un anod A format dintr-un conductor subțire. Legăm acest anod (în exteriorul balonului de sticlă) la borna pozitivă a unei baterii de 40—50 V, iar catodul la borna negativă; în circuitul format astfel se conectează un instrument indicator de curent foarte sensibil. La întuneric, instrumentul nu va indica existența vre-unui curent. Dacă însă vor cădea pe catod radiații luminoase, instrumentul va indica existența curentului. Explicația acestui fapt este că, sub ac-

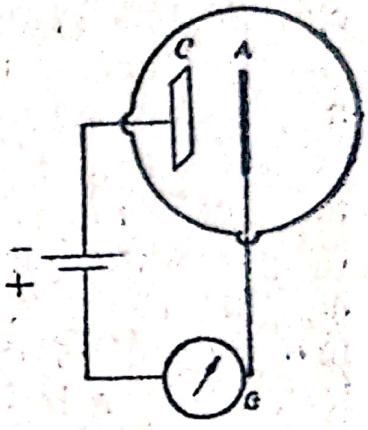


Fig. 20. Funcționarea celulei fotoelectrice

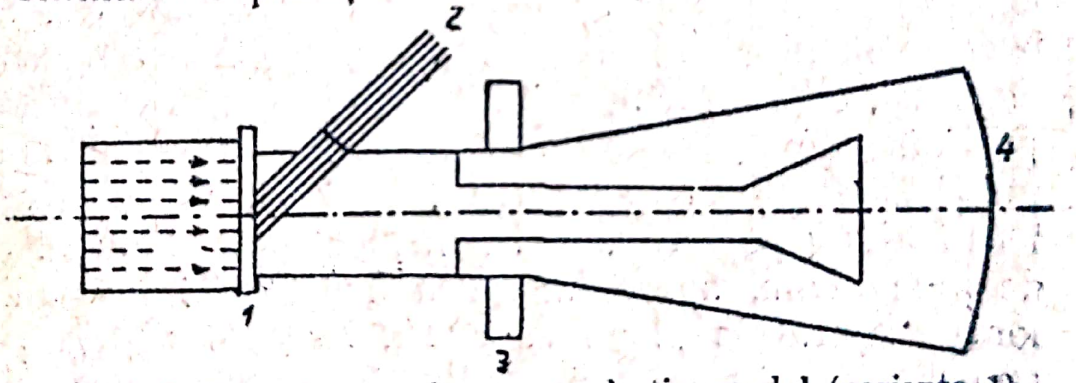


Fig. 21. Microscop cu ultrasunete de tip special (varianta 1)

Schema miscroscopului cu ultrasunete este dată în fig. 21. Și în acest caz (ca și în primul), atît emițătorul de ultrasunete cît și receptorul, sînt constituite din cîte o placă de cuarț. Receptorul este fixat la baza unui tub în care s-a făcut vid înaintat; suprafața dinspre interior este acoperită cu o substanță fotosensibilă (amestec conținînd potasiu sau sodiu). Printr-o deschidere laterală, se proiectează radiații ultraviolete *2* asupra stratului fotosensibil de pe suprafața din spre interior a plăcii de cuarț, sub influența iradierii uniforme, întreaga suprafață a plăcii de cuarț acoperită cu substanțe fotosensibile, emite electroni, la fel ca și în cazul celulelor fotoelectrice. Acești electroni, sînt accelerați cu ajutorul cîmpurilor electrice sau magnetice *3*, producînd pe ecranul luminiscent *4* al tubului, o pată luminoasă cu o iluminare uniformă.

țiunea luminii din catod ies electroni care se îndreaptă spre anod. Cu cît lumina este mai puternică cu atît este și curentul mai mare. Acest aparat se numește celulă fotoelectrică, iar fenomenul se numește efect fotoelectric. Celula fotoelectrică nu este utilizată numai în cinematografie, ci și în domeniile cele mai diferite ale electrotehnicii. Nu este neapărat necesar să se proiecteze radiații vizibile asupra catodului. Se poate realiza un efect cu mult mai puternic folosind așanumitele radiații ultraviolete, a căror lungime de undă este mai mică decît lungimea de undă a celei mai scurte radiații din spectrul vizibil.

Aducînd placa de la emisie în stare de vibrație, ultrasunetele radiate se reflectă de pe obiect și ajung la placa de recepție. Sub influența ultrasunetelor, la bornele monturii plăcii de recepție apare o tensiune electrică, care influențează fasciculul electronic (unele porțiuni ale suprafeței fotosensibile vor emite mai mulți electroni iar altele mai puțini). Electronii accelerați ajung pe ecran, unde, în locul petei luminoase de pînă acum, apare imaginea distribuției tensiunilor pe suprafața plăcii de cuarț. Această distribuție corespunde distribuției radiațiilor ultrasonice pe placa de cuarț, adică ne dă o imagine a interiorului obiectului cercetat pe baza intensităților undelor reflectate.

Puterea măritoare a acestui microscop depinde nu numai de lungimea de undă a ultrasunetelor folosite și de grosimea plăcii de cuarț, ci și de sistemul de lentile. Dacă experiențele se vor termina cu succes, iar randamentul instalației va atinge pe acela al microscopului cu ultrasunete anterior (cheltuielile de investiții sînt mai mici), acest tip de microscop cu ultrasunete se va răspîndi repede, fiind mai adecuat pentru fabricația în serie.

Scanned with OKEN Scanner

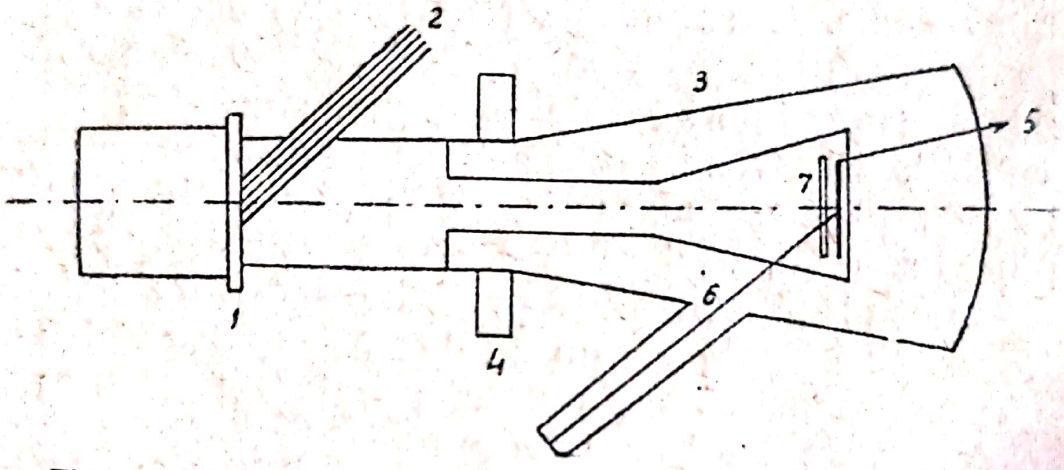
Cealaltă variantă amintită, constituie o combinație interesantă a celor două tipuri de microscoape cu ultrasunete amintite pînă acum. Ş aici, radiațiile de ultrasunete sînt proiectate asupra obiectului de cercetat în același fel ca și în cele două cazuri precedente. Receptorul este constituit de asemenea dintr-o placă de cuarț, care în același timp este și soclul unui tub catodic. Ultrasunetele reflectate de obiect ajung pe fața dinspre exterior a plăcii receptoare a cărei față dinspre interior este acoperit cu un strat fotosensibil. Electronii, sub acțiunea radiațiilor ultraviolete, părăsesc placa de cuarț; ei nu ajung însă pînă la ecran, căci se lovesc mai întîi de o placă. Această placă constituie particularitatea instalației. Ea este acoperită cu un strat sensibil, discontinuu, care se aseamănă cu un mozaic; suprafața plăcii este explorată cu un fascicul electronic, proiectat de un tub lateral. Sarcinile care apar pe mozaicul plăcii produc variația curentului anodic. Această variație a curentului este amplificată și sub forma de variații de tensiune este aplicată la anodul unui alt tub catodic. Cel de al doilea tub catodic funcționează sincron cu primul și, prin urmare, pe ecranul lui vom obține imaginea obiectului ca și în cazul primei variante. Pentru a se putea înțelege mai ușor funcționarea, în fig. 22 este prezentată schema acestui tip de microscop cu ultrasunete.

Această variație de curent se amplifică, iar imaginea se obține pe ecranul celui de al doilea tub catodic. Nici în cazul acesta și nici în cel precedent nu s-a reprezentat pe figură placa de cuarț de la emisie și nici obiectul sau sistemul de lentile. Înafară de aceasta, în fig. 22 nu s-a reprezentat instalația de amplificare și cel de al doilea tub catodic.

Puterea separatoare a instalației, înafară de condițiile obișnuite, depinde de o serie întreagă de fac-

Scanned with OKEN Scanner

tori. Nu este indiferent de exemplu, modul în care vibrează placa de cuarț. După cum am mai amintit, placa de cuarț pe lîngă vibrații longitudinale și transversale mai execută și al treilea fel de vibrații. Se înțelege că dacă un corp, în afara vibrației dorite,



Fig, 22. Microscop cu ultrasunete de tip special (varianța 2)

Sub acțiunea fasciculelor electronice sau a celor ultraviolete, care cad oblic pe placa de cuarț *1*, de pe fața dinspre interior a plăcii (acoperită cu un strat fotosensibil) sînt emiși electroni. Electronii accelerați de cîmpul electric *4* al tubului catodic *3* ajung pe o placă acoperită cu un mozaic fotosensibil *5*. Fasciculul electronic *6* acoperă întreaga suprafață a plăcii *7*, producînd astfel variația curentului anodic la anodul *7*.

execută încă două vibrații de alt fel, măsurarea va fi destul de dificil de efectuat. In asemenea cazuri imaginea se distorsionează, devine neclară. In mare parte s-a reușit și aici să se înlăture distorsiunile; cu ajutorul reflecției totale se caută să se reducă cît mai mult influența perturbatoare a undelor transversale și a celor de suprafață. Imaginile obținute în acest fel sînt destul de clare și se pot distinge cu ușurință.

Scanned with OKEN Scanner

Microscoapele cu ultrasunete descrise pînă aici sînt deja utilizate în practică la examinarea materialelor; cu toate că ele vor trebui încă perfecționate, în practică s-au obținut totuși, cu ajutorul lor, rezultate mulțumitoare. Dece mai este oare nevoie de acest microscop, ar putea întreba cineva, cînd în cele mai multe uzine și fabrici se utilizează cu suficient succes instalațiile cu raze Roentgen? In adevăr, examinarea materialelor executată cu ajutorul razelor Roentgen dă rezultate mulțumitoare. Un defect intern, poate fi descoperit dacă mărimea lui este de cel puțin 1—2% din grosimea obiectului. După cum am mai amintit cînd am studiat defectoscopul, precizia este relativ mică, iar adîncimea de pătrundere a radiațiilor este și ea în mare măsură limitată. Determinarea defectelor interne ale pieselor mai groase este de aceea foarte puțin exactă, deoarece măsurarea dimensiunilor defectului depinde și de grosimea piesei. Totuși la un pod, de exemplu, nici cele mai groase piese metalice nu trebuie să aibe defecte. Oare se poate determina cu suficientă precizie defectul cu ajutorul radiațiilor Roentgen și în cazul în care placa controlată prezintă discontinuități în stratificare? Să ne gîndim numai cît de mare este pierderea, dacă se descoperă defectul la o locomotivă aproape terminată. Conform calculelor, cu ajutorul microscopului ultrasonic se poate descoperi un defect cu o mărime de 0,000001 mm.

In cele de mai jos vom prezenta cîteva fotografii realizate cu ajutorul primului microscop ultrasonic experimental. Acestea nu sînt fotografii de exploatare, dar exemplifică toate avantajele care rezultă din utilizarea ultrasunetelor în acest domeniu.

In fig. 23 se poate vedea, una dintre primele fotografii realizate reprezentînd două vergele metalice

Scanned with OKEN Scanner

Chiar la o mărire de numai zece ori se pot observa clar defectele interne ale vergelelor. Trebuie specificat că vergelele se găseau cufundate (în momentul fotografierii) într-un lichid netransparent. Fotografia a fost făcută cu ajutorul primului microscop ultrasonic al lui Sokolov.

În fig. 24, *a* și *b* se pot vedea două fotografii; în ambele fotografii se văd o vergea de sticlă și un tub de sticlă, de dimensiuni egale. În stînga se poate observa vergeaua de sticlă, iar în dreapta tubul. Să vedem care este diferența între fotografiile a și b și pe baza cunoștințelor căpătate pînă acum să încercăm să explicăm cele observate.

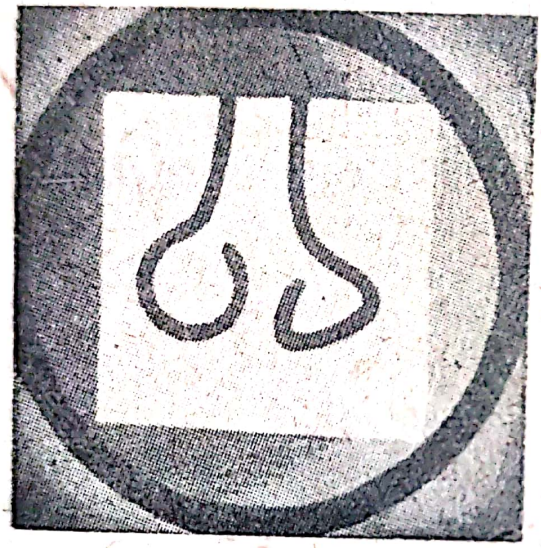


Fig. 23. Fotografie realizată cu ajutorul primului microscop cu ultrasunete al lui Sokolov (vergele metalice cufundate într-un lichid netransparent)

Prima fotografie, după cum se vede, este clară, cu liniile bine conturate, pe cînd a doua apare foarte puțin clară. Dacă am fi ținut seamă de timp, aceasta a doua dovedește că placa de cuarț nu vibra după o singură direcție. Prima fotografie s-a obținut cu ajutorul unei plăci de cuarț care nu executa decît oscilații longitudinale. Am putea în primul moment să credem că legenda figurii este greșită și că în partea dreaptă se află vergeaua, iar în partea stîngă, tubul. Nu este însă așa. Din aceasta rezultă că ultrasunetele sînt absorbite mai puternic de aer, decît de mediile solide. Petele ce se pot observa în lungul

vergelei, dovedesc că ultrasunetele trec prin sticlă, și că aerul absoarbe ultrasunetele.

Microscopul cu ultrasunete mai are și o altă proprietate foarte importantă. Cu ajutorul lui se pot studia ultrasunetele, chiar prin metode care pînă acum nu puteau fi folosite. Au putut fi fotografiate

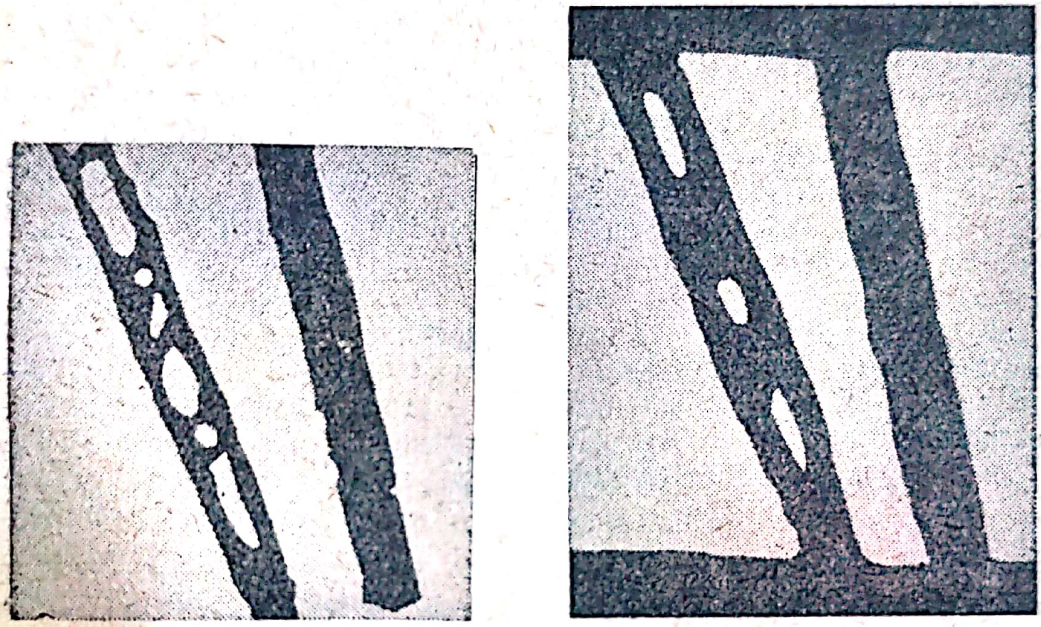


Fig. 24. Fotografii realizate cu ajutorul microscopului cu ultrasunete (stînga vergea de sticlă, dreapta tub de sticlă)

plăcile de cuarț în vibrație. Pe unele din aceste fotografii au apărut foarte clar figurile lui Chladni. Fotografii frumoase se pot găsi în lucrările indicate în bibliografia broșurii de față. ,

In încheiere, pentru o înțelegere mai ușoară, vom compara modurile de funcționare ale celor trei tipuri de microscoape. Din această comparație rezultă că atît proeictarea cît și funcționarea celor trei tipuri de microscoape, sînt asemănătoare cu toate că în cazul primului tip se folosesc radiații luminoase, în cazul celui de al doilea, fasciculele electronice, iar în cazul celui de al treilea ultrasunete.

Scanned with OKEN Scanner

vergelei, dovedesc că ultrasunetele trec prin sticlă, și că aerul absoarbe ultrasunetele.

Microscopul cu ultrasunete mai are și o altă proprietate foarte importantă. Cu ajutorul lui se pot studia ultrasunetele, chiar prin metode care pînă acum nu puteau fi folosite. Au putut fi fotografiate

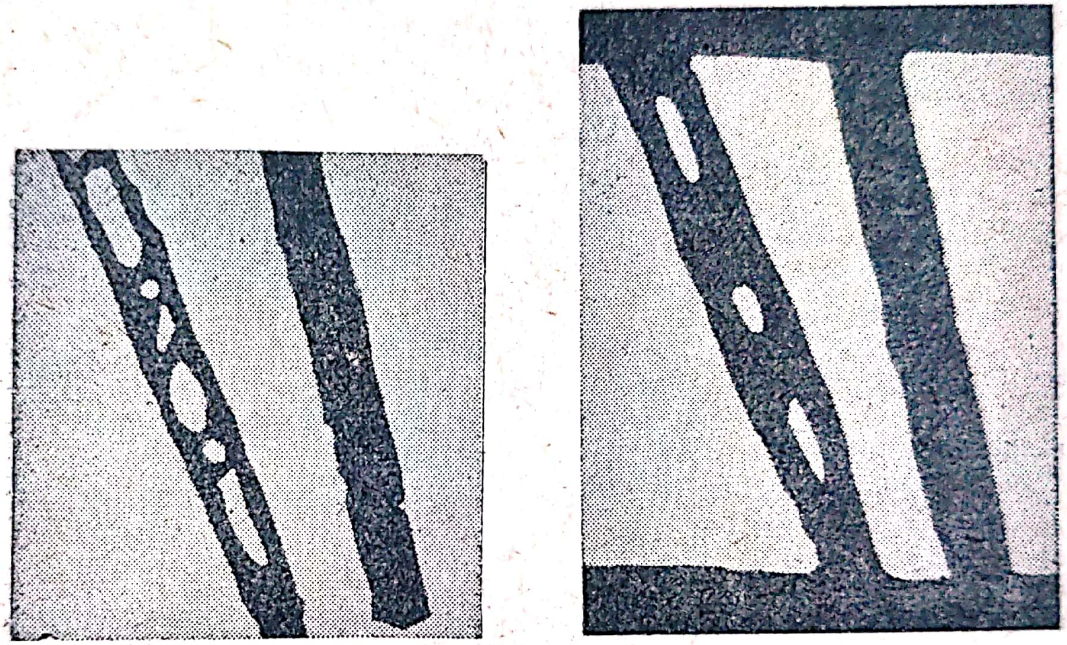


Fig. 24. Fotografii realizate cu ajutorul microscopului cu ultrasunete (stînga vergea de sticlă, dreapta tub de sticlă)

plăcile de cuarț în vibrație. Pe unele din aceste fotografii au apărut foarte clar figurile lui Chladni. Fotografii frumoase se pot găsi în lucrările indicate în bibliografia broșurii de față.

În încheiere, pentru o înțelegere mai ușoară, vom compara modurile de funcționare ale celor trei tipuri de microscoape. Din această comparație rezultă că atît proeictarea cît și funcționarea celor trei tipuri de microscoape, sînt asemănătoare cu toate că în cazul primului tip se folosesc radiații luminoase, în cazul celui de al doilea, fasciculele electronice, iar în cazul celui de al treilea ultrasunete.

Scanned with OKEN Scanner

Microscopul optic	*Microscopul electronic*	*Microscopul ultrasonic*
1. Radiațiile luminoase produse de soare sau de o altă sursă de lumină, le îndreptăm spre obiect.	1. Fasciculele electronice produse de catodul incandescent ajung pe obiectul de cercetat.	1. Radiații de ultrasunete produse de placa de cuarț șlefuit îndreptate către obiect.
2. Din obiect, corespunzător cu transparența sa, vor ieși radiații mai slabe sau mai puternice.	2. Din obiect, corespunzător cu transparența sa, vor ieși fasciculele electronice mai slabe sau mai puternice.	2. Din obiect, corespunzător cu transparența sa, vor ieși radiații de ultrasunete mai slabe sau mai puternice.
3. Lentila obiectiv strînge aceste radiații într-un fascicul. Va reprezenta o imagine reală.		3. Primul tub catodic (tubul obiectiv) fotografiază cîmpul piezoelectric produs de ultrasunete.
4. Lentila ocular mărește din nou această imagine și o proiectează pe un ecran.	4. A doua bobină, mărind din nou această imagine, o proiectează pe ecranul tubului.	4. Cel de al doilea tub catodic, transformă variația de curent în variație de lumină, și proiectează imaginea pe ecran.

16. STUDIEREA ȘI CONTROLAREA FENOMENELOR FIZICE ȘI CHIMICE CU AJUTORUL MICROSCOPULUI CU ULTASUNETE

Atît în fizică, cît și în chimie este nevoie deseori să se observe anumite fenomene ce se petrec într-un mediu netransparent. Prin folosirea ultrasunetelor, aceste probleme se rezolvă cu ușurință; fenomenele se pot observa independent de faptul că mediul este solid, lichid sau gazos. Folosind metoda preconizată de Sokolov încă din 1936, se pot studia cu foarte mare precizie chiar și fenomene care au o durată mai mare (1—2 ore).

In timpul desfășurării fenomenelor respective, elasticitatea mediului variază și, din această cauză, variază și viteza de propagare a ultrasunetelor în me-

Scanned with OKEN Scanner

diu, cît și absorbția lor. În funcție de variația vitezei ultrasunetelor și de absorbție putem determina precis anumite caracteristici ale lichidului. Acest procedeu este recomandabil în special pentru studierea polimerizării (mai multe molecule se reunesc într-o singură moleculă nouă). În cazul polimelizării variază atît viteza de propagare a ultrasunetelor în mediu, cît și absorbția lor.

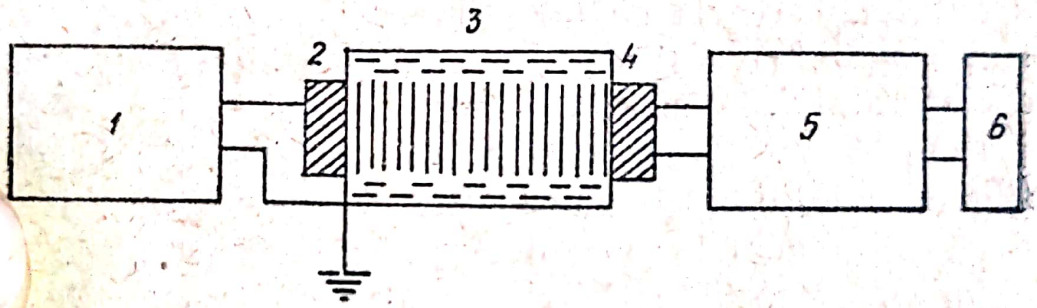


Fig. 25. Părțile componente ale unei instalații speciale pentruexaminarea fenomenelor chimice

În fig. 25 se poate vedea schema instalației. Placa de cuarț, *2*, (placa de emisie), adusă în stare de vibrație cu ajutorul curentului furnizat de un oscilator de înaltă frecvență, *1*, radiază ultrasunete. Placa de emisie se fixează pe peretele vasului *3* în care se găsește lichidul de examinat. Cea de a doua placă de cuarț *4* (de la recepție), este fixată pe peretele dinainte al vasului. După receptor urmează instalația de amplificare *5* și instalația de control al frecvenței și vitezei, *6*.

Viteza de propagare a ultrasunetelor se poate măsura prin diferite procedee. Unul dintre procedeele utilizate cel mai des îl constituie așa-numita locație cu ultrasunete. Aceasta constă în iradierea mediului de cercetat cu ultrasunete sub formă de impulsuri de durată foarte scurtă (mai scurtă chiar decît a mia parte dintr-o secundă). Frecvența ultrasunetelor este 1—2 MHz. Impulsurile reflectate sau acelea care au străbătut mediul cercetat sînt înregistrate pe ecra-

Scanned with OKEN Scanner

nul oscilografului. După modificarea formei curbelor care apar pe ecranul oscilografului se poate determina viteza. Caracteristic pentru precizia măsurării este faptul că este înregistrată orice variație de viteză egală cu 2—3 sutimi de milionimi din viteza ultrasunetului. Dacă, de exemplu, viteza de propagare a ultrasunetului într-un lichid este de 1 500 m/s, atunci a suta milionime parte din aceasta este mai mică decît un milimetru. Dacă viteza ultrasunetului va varia cu un milimetru pe secundă, variația aceasta va fi observată numaidecît pe ecranul oscilografului.

Cum mediul cercetat se găsește încontinuu sub acțiunea radiațiilor de ultrasunete, se naște întrebarea dacă ultrasunetele nu influențează oare fenomenele chimice. Această problemă a fost examinată timp îndelungat de către Sokolov. El a stabilit că radiațiile de ultrasunete de slabă intensitate nu influențează favorabil fenomenele chimice. Dacă însă se mărește intensitatea radiațiilor, influența devine din ce în ce mai puternică: lichidul se încălzește simțitor, apare fenomenul de cavitație etc. Din calcule rezultă că influența ultrasunetelor de joasă frecvență se poate neglija numai în cazul în care puterea lor nu trece de 1—2 W.

Cu ajutorul radiațiilor de ultrasunete de mare intensitate, se poate influența mult creșterea cristalelor. Cu această problemă s-a ocupat Kapustin; el a stabilit că se poate realiza cu ajutorul radiațiilor de ultrasunete accelerarea creșterii cristalelor și că acestea sînt cu mult mai rezistente decît cele crescute fără a folosi radiațiile de ultrasunete. În viitor aceste experiențe vor avea o importanță din ce în ce mai mare, deoarece cuarțul se procură cu mare greutate.

Scanned with OKEN Scanner

17. CERCETAREA CUTREMURELOR DE PĂMÎNT CU AJUTORUL ULTRASUNETELOR

Cercetarea cutremurelor de pămînt s-a lovit întotdeauna de greutăți mari. Pentru a putea întreprinde cercetări precise trebuie să se aștepte totdeauna ca într-un anumit loc să se producă un cutremur. Aceasta face ca cercetarea să fie ocazională, timpul neputîndu-se stabili niciodată. Încă de demult a apărut ideea producerii de cutremure experimentale, care să nu cauzeze distrugeri dar să aibe aceleași caracteristici ca și cutremurele de pămînt reale. Aceste experiențe ar fi de o mare importanță, deoarece cunoscîndu-se bine proprietățile fizice ale cutremurelor s-ar putea încerca diferite metode de protecție împotriva lor. Este nevoie prin urmare pentru scopuri de laborator, să se producă cutremure artificiale ușor de condus. Această chestiune a putut fi rezolvată cu ajutorul ultrasunetelor.

Este interesant să arătăm cum au ajuns cercetătorii sovietici să rezolve cu succes această problemă. Am mai amintit că în cristalele de cuarț, înafară de undele longitudinale, se propagă unde transversale și chiar așa numitele unde de suprafață. Viteza acestora din urmă este diferită. Deoarece aceste unde îngreuiază în mod special cercetările, sarcina principală a fost de a le elimina în cea mai mare măsură posibilă. Avînd în vedere că undele transversale și cele de suprafață pot avea o asemenea intensitate încît să producă așa-numitele cutremure cu ultrasunete, instrumentele de măsurat se construiesc astfel încît aceste unde să nu poată perturba măsurarea.

Instrumentele detectoare de cutremure utilizează unde asemănătoare cu cele trei tipuri de unde de ultrasunete amintite. Undele longitudinale sosite din interiorul pămîntului, chiar din centrul cutremurului,

Scanned with OKEN Scanner

produc primele vibrații ale instrumentului indicator de cutremure. Viteza acestora este de 5,6—13,25 km/s. Tot din interiorul pămîntului ajung aici, dar mult mai tîrziu, cu o viteză de 3,5—7,25 km/s, undele transversale, care produc o nouă deviere a acului instrumentului. În urma cercetării undelor produse de cutremure s-a stabilit că pămîntul conține trei straturi cu densități diferite. Există un strat exterior cu o grosime de 1 200 km. Densitatea acestuia este de 3,4 ori mai mare decît densitatea apei. Urmează apoi un strat cu densitatea 6,4 și cu o grosime de aproximativ 1700 km. În centru se găsește un sîmbure cu diametrul de 7 000 km. Densitatea medie a acestui sîmbure este 9,6 (88% fier și 8% nichel).

Din experiențe a rezultat că, cu ajutorul ultrasunetelor se pot produce cutremure, similare cu cele reale, pe un model în care ultrasunetele se propagă la fel ca și cutremurele în pămînt. În laboratoarele sovietice s-a construit un astfel de model, a cărui structură corespunde structurii pămîntului. S-au ales ultrasunetele astfel încît raportul dintre lungimea lor de undă și lungimea de undă a vibrațiilor ce se propagă în cazul cutremurelor de pămînt să fie egal cu raportul dintre raza modelului și raza pămîntului. În practică se lucrează cu ultrasunete a căror frecvență este cuprinsă între 100 kHz și 30 MHz. Modelul astfel construit corespunde întru totul așteptărilor. Placa de cuarț adusă în stare de vibrație, produce pe modelul globului pămîntesc mici cutremure.

Aceste cercetări nu numai că fac posibil controlul celor stabilite pînă acum prin calcule, dar pun la dispoziția geologilor date din ce în ce mai precise asupra diferitelor unde ce se propagă în diversele straturi din interiorul pămîntului.

Scanned with OKEN Scanner

18. UTILIZĂRILE ULTRASUNETELOR

În acest capitol vom descrie cîteva dintre numeroasele aplicații și posibilități de utilizare a ultrasunetelor. Ele sînt prezentate pe scurt, pentru a ne putea da seama cît de variat este domeniul de aplicație a ultrasunetelor.

Iată, de exemplu, problema care nu s-a putut rezolva imediat după catastrofa vaporului Titanic. Se poate stabili oare cu ajutorul ultrasunetelor locul precis al ghețarilor plutitori sau al submarinelor? Se poate realiza oare ideea lui Richardson, pe care savanții contemporani au primit-o cu neîncredere? Este adevărat că la cercetarea materialelor, undele de ultrasunete nu trebuie să ajungă decît la o distanță de cîțiva metri, pe cînd la determinarea precisă a profilului fundului mării este vorba de distanțe de ordinul kilometrilor. În lichide însă, ultrasunetele nu dispar atît de rapid. La măsurători avem nevoie de o sursă de ultrasunete de o putere corespunzătoare și care să lucreze pe o anumită frecvență. Randamentul practic poate fi diferit. Se poate lucra sau cu două aparate (la emisie și recepție), sau cu un singur aparat. În ultimul caz, pentru emisie și pentru recepție se întrebuințează același aparat. Aceste instalații au fost utilizate cu succes în cercetările maritime.

În ultimul timp se pune din ce în ce mai acut întrebarea cum s-ar putea asigura o distribuție uniformă a părților componente ale aliajelor. Este evident că o mare parte a defectelor interne este cauzată de distribuția neuniformă a părților componente, în timpul răcirii aliajului. Dacă se va reuși să se realizeze o distribuție uniformă a acestora, piesa metalică supusă tratamentului va conține cu mult mai puține defecte. În timpul răcirii se poate întîmpla să se producă stratificări, iar în diversele straturi,

distribuția compușilor să fie diferită. Din această cauză pot rezulta neplăceri la prelucrări, deoarece diferitele straturi se comportă deosebit cu variația temperaturii, iar în timpul prelucrării se pot produce accidente. Din acest motiv, cercetările academicianului sovietic A. P. Kapustin sînt foarte importante. Ele se dezvoltă în două direcții diferite: prima urmărește realizarea unui amestec cît mai perfect, iar a doua urmărește purificarea aliajelor. Experimental s-a constatat că prin iradierea amestecurilor în stare topită cu ultrasunete, se obține o îmbunătățire apreciabilă a calității acestora. Rezultatele obținute experimental de către Kapustin sînt valorificate astăzi în industria sovietică. De asemenea ultrasunetele sînt întrebuințate pentru purificarea aliajelor pe scară mare. Pentru studierea acestui fenomen, se amestecă în aliaj un praf fin și se constată apoi în ce măsură ultrasunetele curăță aliajul. Se poate ajunge ca sub acțiunea unor radiații nu prea intense, o parte dintre firele de praf să se grupeze și să cadă pe fundul vasului, iar altă parte să se ridice la suprafața aliajului topit. Cu toate că Kapustin n-a reușit încă să atingă scopul urmărit, experiențele lui sînt de o mare importanță pentru dezvoltarea industriei.

Particulele care se găsesc în drumul ultrasunetelor oscilează rapid. Dacă se radiază ultrasunetele asupra unui lichid, se poate produce o diferență de presiune de mai multe atmosfere între două puncte situate la o distanță corespunzătoare unei jumătăți de lungime de undă. Ne putem imagina ce acțiune are această diferență de presiune asupra viețuitoarelor microscopice care trăiesc în lichide. Asupra peștilor și broaștelor, chiar și radiațiile foarte puțin intense au un efect dăunător; radiațiile intense omoară peștii mai mici. Conform datelor experimentale, pentru distrugerea peștilor mici este suficientă o frecvență de

Scanned with OKEN Scanner

800 kHz. Şoarecii sînt omoriţi de ultasunete cu o frecvenţă de 20 kHz şi cu o intensitate de 1—3 W/cm.

Animalele pot fi şi ele distruse într-un timp mai scurt de o secundă de către un fascicul de ultrasunete intense. De aici a pornit ideia cercetării posibilităţii ca, cu ajutorul ultrasunetelor, să se poată distruge microbii şi bacilii; aceasta constituie şi cauza pentru care ultrasunetele sînt întrebuinţate cu succes pentru producerea serurilor. Dintre rezultatele cele mai interesante vom aminti numai cîteva. Microbii tusei convulsive au fost distruşi cu ultrasunete cu o frecvenţă de 950 kHz. Intr-un laborator din Japonia, s-a reuşit să se distrugă cu ajutorul ultrasunetelor microbii tifosului. Mai multe institute au obţinut rezultate asemănătoare în legătură cu radierea ultrasunetelor asupra microbilor gripei şi ai tuberculozei. Este regretabil însă faptul că nu s-a reuşit totuşi să se distrugă toţi microbii prin ultrasunete. Există microbi care rezistă şi ultrasunetelor de cea mai mare frecvenţă şi de cea mai mare intensitate.

In practica medicală s-a început relativ destul de tîrziu să se aplice tratamente cu ultrasunete. In anul 1939, Parov şi Pohlman au vindecat prin ultrasunete mai mulţi bolnavi de sciatică. Insă abia în anul 1945 s-a răspîndit folosirea ultrasunetelor în medicină. De atunci, comunicările în legătură cu tratamentele cu ultrasunete sînt din ce în ce mai numeroase, făcînd cunoscut felul în care se pot vindeca, în special, bolile nervoase şi reumatice. La o astfel de instalaţie medicală de ultrasunete se montează un singur cap (de iradiere), care se plimbă peste partea bolnavă a corpului. În ultimii ani, aplicarea ultrasunetelor a devenit atît de generală, încît unii le-au folosit şi împotriva bătăturilor. Această utilizare „comercială“ a ultrasunetelor este justificată de cercetările lui Horvath, care a dovedit că se pot

Scanned with OKEN Scanner

produce răni în țesuturile pielei cu ajutorul ultrasunetelor intense.

Tot în medicină s-a pus următoarea întrebare foarte importantă: oare ultrasunetele n-au o influență dăunătoare asupra acelora care manipulează instalațiile de producere a acestora? După cum se știe, la apariția primelor tipuri de instalații Roentgen, s-au produs multe accidente din cauza ignoranței și a neglijenței. În legătură cu aceasta trebuie să menționăm munca plină de sacrificiu a inginerului elvețian Pohlman. Prin experiențe executate chiar asupra lui, el a dovedit că ultrascurtele n-au o acțiune dăunătoare asupra corpului omenesc. Pohlman și-a supus întîi degetele, acțiunii ultrasunetelor pentru scurt timp. Apoi a mărit în mod gradat intesitatea și frecvența ultrasunetelor, în timp ce observa continuu dacă nu-i sînt distruse oasele. Degetele s-au făcut de două ori pe cît erau la început și pielea de pe ele a devenit roșie, dar el nu a renunțat la continuarea experiențelor. Cînd primele experiențe au luat sfîrșit, Pohlman nu și-a putut recunoaște mîinile, care cu puțin înainte erau normale: arătau ca mîinile unui bolnav grav de lepră. N-au trecut însă nici două ore și mîinile și-au recăpătat culoarea și forma normală. Prin urmare experiența a reușit și el a putut înscrie acest rezultat în jurnalul său: „Ultrasunetele nu au o influență dăunătoare asupra organismului omenesc". Pohlman a mai dovedit că o manipulare continuă a instalațiilor de ultrasunete nu produce nici un fel de maladii. Timp de opt săptămîni, în fiecare zi, el și-a iradiat mîinile cu ultrasunete, dar nu a observat nici un fel de influență dăunătoare. Este adevărat însă că atunci cînd a întrebuințat ultrasunete cu lungimi de undă mai mari, mîinile i s-au bășicat.

Deși medicina se mîndrește cu rezultate frumoase în domeniul ultrasunetelor, totuși acest capitol este

încă la începutul dezvoltării lui. Deseori medicul acționează numai după impresie, atunci cînd trebuie să stabilească intensitatea ultrasunetelor, frecvența lor și timpul de iradiere. Procedee perfecționate încă nu s-au pus la punct iar procedeele care se sprijină pe ultrasunete, verificate în practică, sînt deseori supuse la noi verificări.

Aceiași situație o întîlnim și în domeniul industriei alimentare. Utilizarea ultrasunetelor în industria alimentară este în legătură cu acțiunea ultrasunetelor asupra bacteriilor. Laptele și lichidele care fermentează, se pot păstra timp îndelungat, fără ca să se strice dacă sînt iradiate cu ultrasunete. Brevetul savantului sovietic Protopopov sau brevetul Führer-Tarnoczy-Tari referitoare la fabricarea vinurilor și liquerurilor se vor putea folosi pe scară largă numai cînd va fi posibilă întrebuințarea în industrie și în marile uzine a generatoarelor de ultrasunete cu o frecvență și o intensitate corespunzătoare.

Ultrasunetele sînt de asemenea întrebuințate și pentru mărirea producției agricole. Aici, de asemenea, locul de frunte îl ocupă Uniunea Sovietică. Istomina și Ostrovski au început încă din anul 1936 primele lor experiențe pentru mărirea capacității de încolțire a mazării și a cartofului. Printr-o iradiere timp de 5 minute, cu ultrasunete cu o putere de 80 W și o frecvență de 400 kHz s-a reușit să se mărească capacitatea de încolțire a mazării și a cartofului cu 30%. Davidov a radiat ultrasunete asupra semințelor de morcov. Rezultatul a fost următorul: printr-o iradiere de 2—10 minute a reușit să obțină o ameliorare a capacității de încolțire cu 45%. Dacă se neglijează însă să se oprească tratamentul la timp, capacitatea de încolțire a semințelor iradiate se pierde. Aceleași rezultate s-au putut observa la orez și la mei. Munca de cercetare de mari proporții care se duce în lumea întreagă dovedește că și în agricul-

Scanned with OKEN Scanner

tură se pot valorifica rezultatele obținute în cercetarea ultrasunetelor.

De la construirea primei instalații de emisie și recepție a ultrasunetelor au trecut 36 ani. Ultrasunetele nu mai sînt folosite numai în laboratoare, ci și-au luat locul lor în industrie și în lumea științelor.

Se mai poate întîmpla și astăzi ca instalațiile încercate în laboratoare să nu aducă rezultatele așteptate în industrie. Aceasta nu se datorește însă proprietăților ultrasunetelor, ci lipsei de generatoare industriale de ultrasunete, sigure în exploatare. Este adevărat că, cu toate utilizările interesante și numeroase, nu trebuie să exagerăm cu extinderea domeniului de aplicare a utrasunetelor. Ultrasunetele nu trebuie întrebuințate în orice ce domeniu al tehnicei. Ele ajută pe tehnicieni, agronomi, medici și savanți la rezolvarea unor sarcini, care pe alte căi se rezolvă greu sau nu se pot rezolva.

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

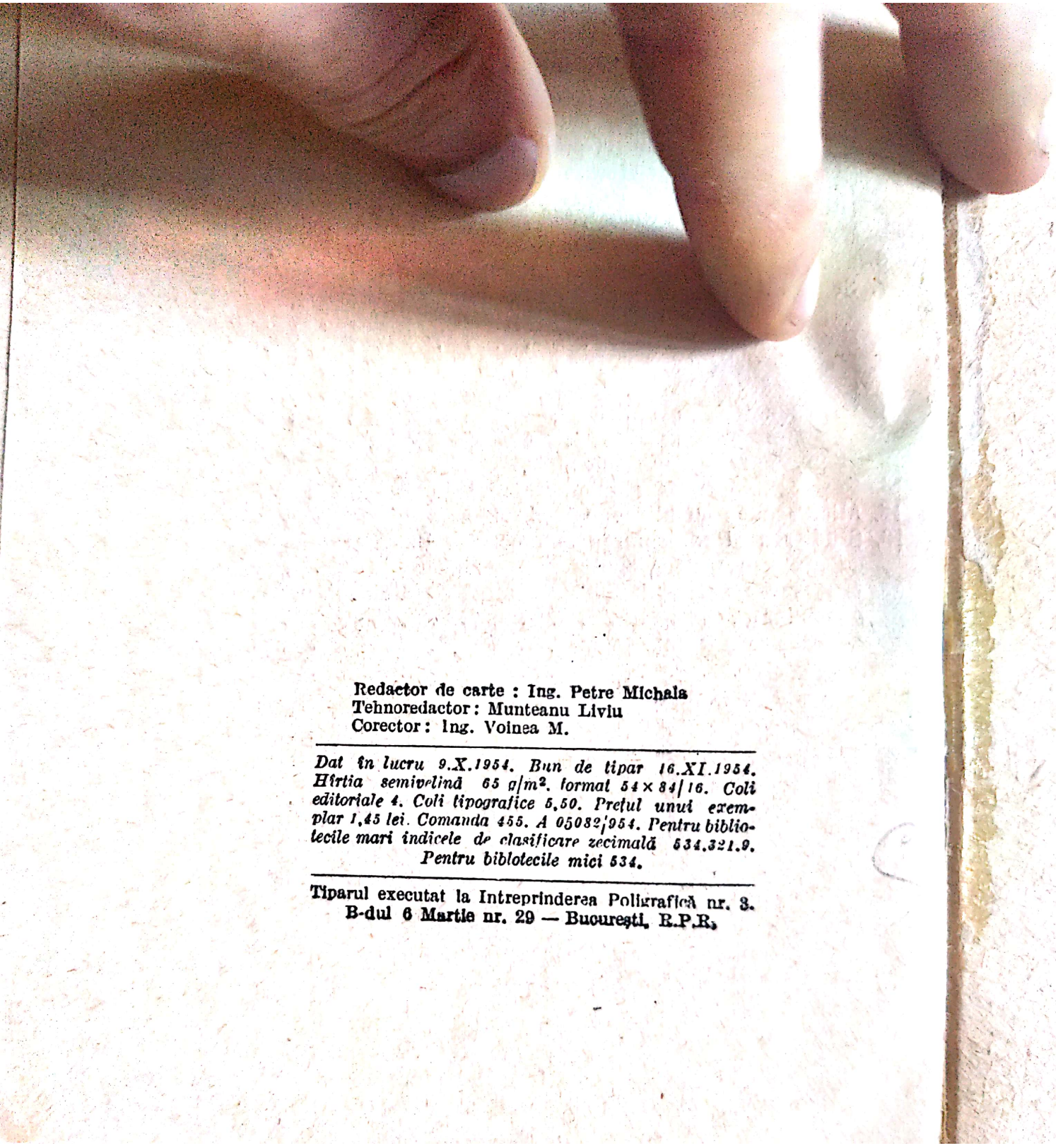
2. Dr. *Narnó zy Tamás:* Producerea ultrasunetelor şi domeniul lor de aplicare. Magyar Technika, 1951, nr. 8, p. 28—42.
3. Dr. *Greguss Pál:* Ultrasunetele şi supersunetele în chimie. Magyar Technika, 1951 nr. 10, p. 22—24.
4. Dr. *Tarnóczy Tamás:* Cercetarea materialelor cu ajutorul ultrasunetelor, Magyar Technika, 1951, nr. 12, p. 51—61.
5. *Tari László:* Cercetarea materialelor prin metoda undelor de ultrasunete şi a impulsurilor de ultrasunete. Magyar Technika, 1951 nr. 12, p. 62—69.

Scanned with OKEN Scanner

TABLA DE MATERII

	Pag.
Introducere	3
1. Producerea sunetului și propagarea lui	4
2. Proprietățile caracteristice ale sunetului	9
3. Pragul audibilității. Ultrasunetele	11
4. Ultrasunete în natură	14
5. Cum se pot observa ultrasunetele	15
6. Fluiere pentru producerea ultrasunetelor	21
7. Scufundarea vaporului Titanic și cercetări în domeniul ultrasunetelor. Primele succese mari	25
8. Efectul piezoelectric	26
9. Magnetostricțiune	33
10. Proprietățile ultrasunetelor	36
11. Ultrasunetele în optică	46
12. Examinarea materialelor cu ajutorul ultrasunetelor	49
13. Microscopul cu ultrasunete	58
14. Puterea măritoare a microscopului cu utrasunete	64
15. Microscoape cu ultrasunete de diferite tipuri	66
16. Studierea și controlarea fenomenelor fizice și chimice cu ajutorul microscopului ultrasonic	74
17. Cercetarea cutremurelor de pământ cu ajutorul ultrasunetelor	77
18. Utilizarea ultrasunetelor	79
Bibliografie	85

Scanned with OKEN Scanner



Redactor de carte : Ing. Petre Michaia
Tehnoredactor: Munteanu Liviu
Corector: Ing. Voinea M.

Dat în lucru 9.X.1954. Bun de tipar 16.XI.1954. Hîrtia semivelină 65 g/m². format 54×84/16. Coli editoriale 4. Coli tipografice 5,50. Prețul unui exemplar 1,45 lei. Comanda 455. A 05082/954. Pentru bibliotecile mari indicele de clasificare zecimală 534.321.9. Pentru bibliotecile mici 534.

Tiparul executat la Intreprinderea Poligrafică nr. 3.
B-dul 6 Martie nr. 29 — București, R.P.R.

Scanned with OKEN Scanner